

Schülerversuche im Physikunterricht

Eine Erkundungsstudie zur Erleichterung und Förderung des Erlernens und Verstehens
elementarer Funktionen in der Elektrizitäts- und Halbleiterlehre mittels vorbereiteter
Arbeitsplatinen

Von der Fakultät für Geistes- und Erziehungswissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu

Braunschweig

zur Erlangung des Grades

Doktor der Philosophie (Dr.phil),

genehmigte Dissertation

von

Bruno Elbers

aus

Betzhorn, Landkreis Gifhorn

Eingereicht am:	08. 07. 2013
Mündliche Prüfung am:	18. 11. 2013
Referent:	Prof. Dr. Rainer Müller
Koreferent:	Prof. Dr. Martin Hopf
Druckjahr:	2013



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CAROLO-WILHELMINA
ZU BRAUNSCHWEIG

Dissertation

Schülerversuche im Physikunterricht

Eine Erkundungsstudie zur Erleichterung und Förderung des Erlernens und Verstehens elementarer
Funktionen in der Elektrizitäts- und Halbleiterlehre mittels vorbereiteter Arbeitsplatinen

Vorgelegt von

Bruno Elbers

Matrikelnummer: 4045175

Mai 2013

Betreuer: Prof. Dr. Rainer Müller

INHALTSVERZEICHNIS:

1. EINLEITUNG.....	6
1.1. LERN- UND LEHREFFEKTE IM PHYSIKUNTERRICHT STEIGERN	6
1.2. SCHÜLERVERSUCHE OPTIMAL NUTZEN	8
1.3. DARSTELLUNG UNTERSCHIEDLICH GEPRÄGTER UNTERRICHTSFORMEN IN DER PHYSIK	11
1.4. INQUIRY-BASED LEARNING – EIN DURCH EIGENES FORSCHENDES LERNEN DER SCHÜLER KONSTRUKTIVISTISCH GEPRÄGTER UNTERRICHT	13
1.5. KONSTRUKTIVISTISCH GEFÜHRTER UNTERRICHT IM URTEIL P. A. KIRSCHNERS	16
1.6. IM PHYSIKUNTERRICHT JUGENDLICHEN EINE NATURWISSENSCHAFTLICHE BILDUNG VERMITTELN	16
1.7. DER SCHÜLERVERSUCH IN DER BEWERTUNG EINIGER WISSENSCHAFTLER DER FACHDIDAKTIK PHYSIK.....	18
1.8. ZUSAMMENFASSUNG DER BISHER DARGESTELLTEN FORSCHUNGSERGEBNISSE ZUR GESTALTUNG DES PHYSIKUNTERRICHTES	32
2. FORSCHUNGSBEITRÄGE ZUM UNTERRICHTSTHEMA „EINFÜHRUNG IN DIE ALLGEMEINE ELEKTRIZITÄTSLEHRE“	35
2.1. DIE ELEKTRIZITÄT, EINE VIELFACH EINSETZBARE ENERGIEFORM	35
2.2. PHYSIKALISCH NICHT HALTBARE SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZUR ELEKTRIZITÄTSLEHRE IM UNTERRICHT ÜBERWINDEN	36
2.3. DEN ENERGIEBEGRIFF ÄLTEREN SCHÜLERINNEN UND SCHÜLERN IN EINEM ERSTEN SCHRITT VERSTEHBAR MACHEN.....	38
3. ALLGEMEINE VORBEREITUNGEN IM FORSCHUNGSPROJEKT FÜR DEN UNTERRICHT ZUR EINFÜHRUNG IN DIE ELEMENTARE ELEKTRIZITÄTS- UND HALBLEITERLEHRE.....	41
3.1. VORBEREITUNG UND DURCHFÜHRUNG EINES FORSCHUNGSPROJEKTES	41
3.2. AUßERUNTERRICHTLICH ERWORBENE SCHÜLERVORSTELLUNGEN PHYSIKALISCH-TECHNISCHER VORGÄNGE ÜBERPRÜFEN UND IM UNTERRICHT NOTFALLS KORRIGIEREN	42
4. GEZIELTE UNTERRICHTSVORBEREITUNGEN IM FORSCHUNGSPROJEKT ZUR EINFÜHRUNG IN DIE ELEMENTARE ELEKTRIZITÄTS- UND HALBLEITERLEHRE	44
4.1. DARSTELLUNG VON VORBEREITETEN ARBEITSPLATINEN FÜR DAS FORSCHUNGSPROJEKT	44
4.2. ZIELSETZUNGEN IN DER SOLTAUER UNTERRICHTSKONZEPTION.....	50
4.3. NICHT HALTBARE SCHÜLERVORSTELLUNGEN IN DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE DURCH RICHTIGE PHYSIKALISCH ÜBERPRÜFBARE ERSETZEN	51
4.4. DER ZEITPLAN DER EMPIRISCHEN UNTERSUCHUNG	53
4.5. VORTEST: DAS WISSEN DER SOLTAUER JUGENDLICHEN IN DER ELEKTRIZITÄTSLEHRE UND DEREN EINSTELLUNGEN ZUM PHYSIKUNTERRICHT IN EINER BEFRAGUNG ERKUNDEN.....	54
5. ANLAGE DER UNTERSUCHUNG.....	57
5.1. WISSENSERWERBUNGEN DURCH TESTS FESTSTELLEN	57
5.2. DER „RHÖNECKTEST“	57
5.3. IN DER VORLIEGENDEN UNTERSUCHUNG ERWORBENE LERNERFOLGE DER SOLTAUER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER MIT DENEN ANDERER STUDIEN VERGLEICHEN	60
5.4. DER χ^2 -TEST.....	62
5.5. DER WILCOXON-PAARDIFFERENZEN-TEST.....	64
5.6. EIN PROZENTUALER VERGLEICH DER TESTERGEBNISSE.....	68
5.7. EIN ERGÄNZENDER VERGLEICH MIT DATEN AUS DER UNTERSUCHUNG S. SPÄTHS.....	69
5.8. ZUSAMMENFASSUNG BISHERIGER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE IM SOLTAUER FORSCHUNGSPROJEKT	71

6.	GRUNDKENNTNISSE IN DER ELEMENTAREN HALBLEITERLEHRE JUGENDLICHEN IN EINER AN DIE ELEMENTARE ELEKTRIZITÄTSLEHRE ANSCHLIEBENDEN UNTERRICHTSEINHEIT VERMITTELN	72
6.1.	DIE HALBLEITER IN IHRER BEDEUTUNG UND WIRKUNGSWEISE IN DER TECHNISCHEN WELT DARSTELLEN	72
6.2.	HALBLEITERISCHE GRUNDKENNTNISSE IN VERSUCHEN MIT VORBEREITETEN ARBEITSPLATINEN ERWERBEN	74
6.3.	HALBLEITERISCHE FUNKTIONSABLÄUFE IN IHREM ENTSTEHEN ERFASSEN	96
6.4.	ERKLÄRUNG DER VORGÄNGE IM LDR- UND IM NTC- HALBLEITER:	101
7.	DARSTELLUNG UND AUSWERTUNG EINER SCHÜLERBEFRAGUNG ZUR IM PHYSIKUNTERRICHT ERARBEITETEN ELEMENTAREN HALBLEITERTECHNIK.....	106
7.1.	QUANTITATIVE AUSWERTUNG DER SCHÜLERBEFRAGUNG ZU VERSUCHEN IN DER ELEMENTAREN HALBLEITERTECHNIK	107
7.2.	QUALITATIVE AUSWERTUNG DER SCHÜLERBEFRAGUNG ZU VERSUCHEN IN DER ELEMENTAREN HALBLEITERTECHNIK	111
7.3.	DIE QUALITATIVE BEWERTUNG VON SOLTAUER SCHÜLERAUSSAGEN DURCH ZWEI PERSONEN IM FORSCHUNGSPROJEKT NACH „COHENS KAPPA“	128
8.	ANWENDUNGSSCHALTUNGEN VON HALBLEITERELEMENTEN MIT JUGENDLICHEN IM PHYSIKUNTERRICHT AUFBAUEN UND IN IHREN TEILFUNKTIONEN VERSTEHEN	132
8.1.	UNTERRICHTSTHEMA: WECHSELSTROM IN GLEICHSTROM VERWANDELN:	132
8.2.	DER TRANSISTOR, EIN HILFREICHER VERSTÄRKER	136
9.	DIE MOTIVIERENDE WIRKUNG DES ERLEBTEN UNTERRICHTES AUS DER SICHT UND IM URTEIL DER SOLTAUER REALSCHÜLER	139
9.1.	SCHÜLER-FRAGEBOGEN ZUR MOTIVATION DURCH DEN UNTERRICHT	139
9.2.	AUSWERTUNG DES SCHÜLER-FRAGEBOGENS	141
10.	DIE SOLTAUER FORSCHUNGSERGEBNISSE IN DER ZUSAMMENFASSUNG.....	143
10.1.	DAS SOLTAUER FORSCHUNGSVORHABEN.....	143
10.2.	LERNERFOLGE DER SOLTAUER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER IN KRITISCHER BETRACHTUNG.....	144
10.3.	ERGÄNZENDE KRITISCHE BETRACHTUNGEN ZUM IN SOLTAU ERTEILTEN PHYSIKUNTERRICHT	146
11.	LITERATURVERZEICHNIS	155
12.	BESCHAFFUNG VON ARBEITSMATERIAL.....	158
13.	ANHANG 1: FRAGEBOGEN 1 ZUR FESTSTELLUNG DES WISSENS IN DER ELEKTRIZITÄTS- UND ELEMENTAREN HALBLEITERLEHRE.....	159
14.	ANHANG 2: FRAGEBOGEN DES „VON RHÖNECK-TESTES“	161
14.1.	DER V. RHÖNECKTEST.....	162
15.	ANHANG 3: DARSTELLUNG EINER SCHÜLERBEFRAGUNG ZUR IM PHYSIKUNTERRICHT ERARBEITETEN ELEMENTAREN HALBLEITERTECHNIK.....	167
15.1.	DER EINSATZ VON MIT HALBLEITERN BESTÜCKTEN ARBEITSPLATINEN IM PHYSIKUNTERRICHT ...	167
16.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	169
17.	VERSICHERUNG	172
18.	DANKSAGUNG	173

Kurzfassung der vorliegenden Forschungsarbeit:

Im Physikunterricht der Schulen das Erlernen und Verstehen elementarer elektrischer und halbleitender Vorgänge der Schülerinnen und Schüler zu erleichtern und zu erhöhen, das ist das Anliegen der vorliegenden Forschungsarbeit. Ausgehend von der Erkenntnis, dass die Ausführung von Schülerversuchen in Verbindung mit theoretischen Einsichten Wahrnehmungen über mehrere Kanäle ermöglicht, liegt die Vermutung nahe, dass selbst erworbenes Wissen tiefer und bleibender im Bewusstsein verankert wird. Darüber hinaus spornt selbständiges Tun bei Lernenden oft zu weiterem Wissenserwerb an und lässt den Erkenntnisgewinn zur eigenen Angelegenheit werden.

In der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung ist diese angedeutete Einsicht längst kein Geheimnis mehr. Im Gegenteil, Wissenschaftler wie E. Grimschl, M. Wagenschein, H.-J. Wilke, R. Müller, G. Roth und andere befürworten ihre Umsetzung im Unterricht, wenn auch in unterschiedlicher Herangehensweise. Überdies hinaus werden auch überzogene Erwartungen an Schülerversuche geknüpft. Insbesondere warnt Derek Hodson vor einer übertriebenen Erwartungshaltung, M. Hopf spricht zum Abschluss seiner Forschungsarbeit von einem „Mythos“ in der Einschätzung von Schülerversuchen.

Die Diskussion darüber, ob eine aus Sicht der Lernenden selbst forschende Unterrichtsform - im englischen Sprachraum ‚Inquiry-based-Instruction‘ genannt - etwa im Sinne J. Exlines oder auch abgeschwächt nach Vorschlägen L. C. McDermotts als lerneffektiver im Vergleich zu einer mehr kognitiv geprägten Form bezeichnet werden kann, lässt sich gegenwärtig insbesondere angesichts der Aussagen P. A. Kirschners kaum als beendet betrachten und bedarf ergänzender wissenschaftlicher Untersuchungen.

In der Absicht, selbst in der Bewertung von Schülerversuchen zu eigenen Erkenntnissen zu gelangen, führte der Autor der vorliegenden Arbeit ein Forschungsprojekt an der August-Wöhler-Realschule in Soltau durch. Die Stadt Soltau liegt im Heidekreis Soltau-Fallingb. B.

Im Verlaufe eines halben Jahres wurden den Jugendlichen in fünf neunten Klassen in je einer Doppelstunde pro Woche Grundkenntnisse zunächst in der elementaren Elektrizitäts- und hernach in der Halbleiterlehre unter Einsatz von eigens gefertigten Arbeitsplatten zur Ausführung von Schülerversuchen vermittelt. Anschließend galt es, ihre schriftlich dargestellten Lernerfolge mittels des „Rhöncktestes“ festzustellen und dann mit international gewonnenen Leistungen zu vergleichen. Um dabei nicht einer Fehleinschätzung - die nachgewiesenen Soltauer Schülerleistungen könnten eventuell Zufallsergebnisse darstellen - zu erliegen, wurden die von den Schülern und Schülerinnen erzielten Ergebnisse mit den international gewonnenen Daten an Hand des χ^2 - und des Wilcoxon-Testes verglichen. Es konnte festgestellt werden, dass die Soltauer Testergebnisse in mehreren der untersuchten Themenfelder signifikant bis hoch signifikant bessere Ergebnisse zeigten.

Darüber hinaus konnten Schüleraussagen gesammelt und sowohl quantitativ wie qualitativ ausgewertet werden. Diese sind geeignet, für eine erfolgreichere Gestaltung des Physikunterrichtes künftig von Bedeutung zu sein.

Es besteht wohl kaum ein Zweifel darüber, dass der physikalisch-technischen Forschung und damit auch dem naturwissenschaftlichen Unterricht in heutiger Zeit angesichts einer wachsenden Bevölkerungszahl und vieler Probleme von der Reinerhaltung der Luft, des Wassers und des Bodens bis zur Versorgung mit alternativen Energien, einer ausreichenden Ernährung und Gesunderhaltung der Menschen wie auch ihrer Sicherheit im Verkehr, eine besondere Bedeutung deshalb beizumessen ist, weil diese Aufgaben in weiten Bereichen nur von technisch informierten, voraussehenden und verantwortungsbewussten Menschen zu bewältigen sind.

Aufgeschlossenheit und die Bereitschaft, sich der Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen zu öffnen, wird man vermutlich in einem um so höheren Maße erreichen, je frühzeitiger man junge Menschen mit physikalisch-technischen Fragestellungen und zu lösenden Aufgaben konfrontiert und sie auch eigene Lösungswege zum Abbau anfänglicher Zurückhaltung und zum Aufbau von Selbstsicherheit finden lässt. Hierin liegt zweifelsohne eine gewichtige Aufgabe des zukünftigen Physikunterrichtes, der sich dieser nicht entziehen sollte.

1. Einleitung

„Der Geist ist kein Schiff, das man beladen kann,
sondern ein Feuer, das man entfachen muss“

(Plutarch)

1.1. Lern- und Lehreffekte im Physikunterricht steigern

In dem Bemühen, Jugendlichen beim Erlernen und Verstehen physikalisch-technischer Sachverhalte und Funktionsabläufe in unserer Umwelt zu unterstützen, bisweilen auch überhaupt erst einmal dazu anzuregen, gibt der oben angeführte Ausspruch Plutarchs sicherlich einen gewichtigen Hinweis. Ihn im naturwissenschaftlichen Unterricht unbeachtet zu lassen, würde bedeuten, auf wesentliche Lernimpulse zu verzichten.

Nicht das reichliche, auch gut gemeinte Angebot von Lerninhalten, die mehr oder weniger passiv von Lernenden aufgenommen und verstanden werden sollen, sichern einen umfassenderen, tiefer gehenden Lernerfolg, sondern erst selbst Erarbeitetes begründet in der Regel ein bleibenderes, fundierteres Verstehen und schafft damit eine überzeugendere Basis für eine echte Bildung. „Wissen kann nicht übertragen werden; es muss im Gehirn eines jeden Lernenden neu geschaffen werden.“ (Roth, 2002, Seite 23).

Im Physikunterricht Sachverhalte und Abläufe von Vorgängen in der Natur und auch in der Technik möglichst vielen Schülerinnen und Schülern verständlich zu machen und sie damit zu befähigen, Abläufe abzuschätzen und vorauszusagen, dieses Bemühen ist eine immer wiederkehrende und gerade auch in heutiger Zeit eine sich immer dringender stellende Aufgabe für Unterrichtende. Angesichts des großen Einflusses, den die Nutzung technischer Geräte und Vorrichtungen auf das Leben der Menschen, besonders in industriell geprägten Gesellschaften, genommen hat, ist es von erheblicher Bedeutung, möglichst einer größeren Zahl von Menschen erste tiefere und fester verankertere Einblicke in physikalisch-technische Zusammenhänge zu vermitteln.

Nur vor diesem Hintergrund schon in der Schule erlebter Grunderfahrungen kann auch erwartet werden, dass möglichst viele Menschen vorausschauend verantwortungsbewusster mit „neueren Techniken“ umgehen, verantwortlich Nutzen und Gefahren abwägen können und entsprechend handeln. Die Erhaltung einer natürlichen Umwelt mit vielfältigen pflanzlichen und tierischen Lebensformen, eine die Atmosphäre nicht überlastende Anreicherung mit negativ wirkenden Gasen und Partikeln, die Sauberhaltung von Gewässern und Böden, die Beschaffung sauberen Trinkwassers, ein angemessener Lärmschutz, eine schadensfreie, ausreichende und gefahrlose Gewinnung von Energien für alle Menschen stellen schon jetzt beispielsweise

erhebliche zu bewältigende Herausforderungen dar. Diese werden sicherlich angesichts einer wachsenden Zahl an Menschen mit gehobenen Ansprüchen nicht geringer werden und auch von jetzt lebenden jungen Menschen bewältigt werden müssen. Diese Aufgaben zu erkennen, abzuschätzen, ernsthaft zu lösen, Entscheidungen mitzutragen setzt fundierteres Wissen und auch Können voraus. Beides sollte, zumindest im Ansatz, möglichst frühzeitig von vielen Jugendlichen, um nachhaltig zu wirken, im naturwissenschaftlichen Unterricht in Schulen erworben werden.

Jugendlichen im Unterricht die Einsicht zu vermitteln, dass physikalisch-technische Gegebenheiten und Abläufe durchschaubar, verstehbar und auch, zumindest in Grenzen, steuerbar sind, ist insbesondere vor dem angedeuteten Hintergrund eine sehr wichtige und bedeutungsvolle Aufgabe. Wie aber sollte Physikunterricht beispielsweise gestaltet werden, um unter Jugendlichen eine positivere Einstellung zur Naturwissenschaft zu erreichen und gleichzeitig bei größerer Lern- und Lehreffektivität anzustreben, dass das Verstehen von physikalisch-technischen Inhalten auch Freude, innere Bestätigung und Zufriedenheit bereiten kann?

Sicherlich spielen Erfolgserlebnisse und verbunden damit eine Selbstbestätigung der eigenen Persönlichkeit eine Rolle. Es wäre sicherlich ein großer Erfolg, wenn es im Unterricht gelänge, in einer größeren Zahl Jugendlicher jene intrinsischen Kräfte zu wecken, die M. Korte wie folgt beschreibt: „Man tut etwas um seiner selbst willen. Diese Eigenmotivation ist eine der stärksten Kräfte im Menschen. Sie treibt uns auf den Mount Everest, ins ewige Eis und in die tiefsten Meeresgräben. Äußere Reize sind nicht annähernd so wirksam wie innere Motivatoren. Nicht um des Geldes, der Ehre und des Ruhmes willen leisten Menschen (Erwachsene wie Kinder) oft nahezu Unglaubliches, sie tun es vor allem, weil sie es wollen.“ (Korte, 2011, Seite 36).

Die vorliegende Untersuchung ist in der Absicht durchgeführt worden, methodisch-didaktische Wege zu erkunden, Physikunterricht für Schülerinnen und Schüler ansprechender und damit wirkungsvoller zu gestalten. Nicht vermehrte theoretische Unterweisungen können Verbesserungen schaffen, vielmehr muss es gelingen, die Lernenden selbst stärker in den Vorgang der Erkenntnisgewinnung und des Erkundens einzubinden. So stellt M. Spitzer fest: „Halten wir fürs Erste fest: Lernen erfolgt nicht passiv, sondern ist ein aktiver Vorgang, in dessen Verlauf sich Veränderungen im Gehirn des Lernenden abspielen.“ (Spitzer, 2009, Seite 4).

Anknüpfend an Vorgänge aus der natürlichen oder technischen Umwelt, die Jugendlichen vertraut sind oder ihnen schnell bekannt gemacht werden können, sie selber durch eigenes „Tun“ Antworten auf Fragen finden zu lassen, das scheint ein viel versprechenderer Weg mit höheren Bildungseffekten zu sein. Es besteht somit kaum ein Zweifel darüber, dass ein stärker theoretisch dominierter Unterricht, oft als Kreidephysik bezeichnet, nicht gleiche bildende Werte vermitteln kann. Die mehr oder weniger passive Aufnahme von neuen, nicht selbst erlebten Informationen belastet nur das Gedächtnis der Schüler und Schülerinnen. Auch muss befürchtet werden, dass so gewonnenes Wissen schnell wieder der Vergessenheit anheim fällt.

Durch eigenes Handeln wird das Erkunden neuer Sachverhalte zur inneren Angelegenheit der Lernenden und spornt in der Regel zu größerer Aktivität an. Natürlich verlangt ein so geplanter und gestalteter Unterricht

besondere Vorbereitungen. Die Schaffung und Erprobung von geeigneten Arbeitsmaterialien für jeweils in den Lehrplänen vorgegebene Unterrichtsthemen erfordert von Unterrichtenden zunächst einen zusätzlichen Aufwand, der sich jedoch im Blick auf Lehr- und Lernerfolge lohnt. Gerade die Wiederverwendbarkeit von geschaffenen und erprobten Lernmaterialien und damit auch die Wirkung auf eine größere Zahl von jungen Menschen in nachfolgenden Klassen erhöht den Wert früherer Anstrengungen und Erfahrungen.

1.2. Schülerversuche optimal nutzen

„Wer nicht selber experimentiert hat, wird nie richtig erfahren, wie physikalische Erkenntnis zu Stande kommt und wie sie gegenüber ungeprüften Aussagen zu wichten ist.“ (Bayer, 2002, Seite 6).

So selbstverständlich und überzeugend diese Aussage klingt, um so schwieriger und aufwändiger kann ihre Umsetzung im Physikunterricht sein. Das gilt insbesondere dann, wenn Klassen hohe Schülerfrequenzen aufweisen und möglichst viele Schüler und Schülerinnen selbsttätig zu neuen und eigenen Einsichten gelangen sollen. Aus lernpsychologischer Sicht ist unbestritten, dass erfolgreiches Lernen über möglichst viele sinnliche Wahrnehmungskanäle, über haptische, visuelle und akustische, ablaufen sollte. Schülerversuchen kommt daher eine ganz besondere Bedeutung zu, weil bei ihrer Ausführung immer mehrere Sinne der Schüler und Schülerinnen angesprochen werden.

Diesen Umstand beschreibt der Biochemiker F. Vester folgendermaßen: „Den Lernstoff über möglichst viele Eingangskanäle anbieten, einprägen und verarbeiten. Je mehr Wahrnehmungsfelder im Gehirn beteiligt sind, desto mehr Assoziationsmöglichkeiten für das tiefere Verständnis werden vorgefunden, desto größer werden Aufmerksamkeit und Lernmotivation und desto eher findet man die gelernte Information wieder, wenn man sie braucht.“ (Vester, 1978, Seite 142).

Schülerversuche im Physikunterricht unterscheiden sich in der Wahl der Themen, im Umfang und Schwierigkeitsgrad, in der Anforderung an das Leistungsvermögen der Lernenden, im Vorhandensein von geeignetem Arbeitsmaterial und auch in der Größe der aktiven Arbeitsgruppen wesentlich voneinander. Eine recht große Bedeutung ist aber vor allen Dingen dem Grad der Vorbereitung einer aufzuschließenden und zu beantwortenden, gegliederten Fragestellung im Klassengespräch beizumessen. Darüber hinaus spielt erfahrungsgemäß das Maß der selbständigen Versuchsausführungen durch die Schülerinnen und Schüler und auch der Umfang der Hilfestellungen durch den Unterrichtenden eine erhebliche Rolle.

Nun stellen Schülerversuche keine Erfindung in neuerer Zeit dar. Schon 1905 wurden laut den Meraner Beschlüssen planmäßige Schülerübungen für die physikalische Ausbildung gefordert. So setzte sich E. Grimsehl, Schulleiter eines Hamburger Realgymnasiums, schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts leidenschaftlich für die Durchführung von Schülerversuchen ein, wenn er formuliert:

„Die naturwissenschaftliche Forschungsmethode soll auf jeder Stufe des Physikunterrichtes das Vorbild für die Unterrichtsmethode sein.“ (Grimsehl, 1911, Seite X 2).

In Anlehnung an die Physik als Wissenschaft sollten nach seiner Vorstellung schon jüngere Menschen frühzeitig durch Eigenaktivitäten mit deren Arbeitsweisen im Ansatz vertraut gemacht werden und auf diese Weise naturwissenschaftliche Erkenntnisse gewinnen.

Der allgemeinen Einschätzung wegen sollte nicht unerwähnt bleiben, dass sowohl in Bayern wie auch in Preußen bis zum ersten Weltkrieg physikalisches Experimentieren durch Schülerhand planmäßig im Unterricht angestrebt und auch teilweise durchgeführt wurde. Als eifrige Verfechter dieser Unterrichtsform hatten in Bayern Stephanie und in Preußen Diesterweg gewirkt. Nach 1920 wurde jedoch mit dem Hinweis auf die Bewältigung größerer physikalischer Inhaltsmengen allgemein theoretischen Unterweisungen der Vorzug gegeben.

Im Gegensatz zu der Grimsehl'schen Auffassung setzte sich, allerdings erst in der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts, verstärkt die Auffassung Martin Wagenscheins für einen kindgemäßen, altersangemessenen, genetischen Physikunterricht durch, einen Unterricht, der entscheidend die Sichtweise der Kinder berücksichtigt. Aus seiner Sicht kann es nicht sinnvoll sein, eine schon „fertige“ Physik mit Schülerinnen und Schülern erfolgreich zu erarbeiten.

Unter dem Motto: „Mit dem Kinde von der Sache aus, die für das Kind die Sache ist“ formuliert Wagenschein: „Denn Kinder denken, sich selber überlassen, immer von der Sache aus, ihrer Sache, der Sache, die sie antreibt. Und nicht von jener anderen, sekundären Sache, die Generationen von Fachleuten daraus gemacht haben. Eine Anfängerdidaktik, die von dieser Physik aus plant, ist pädagogisch gesehen unsachlich. Mit diesem bequemen Gewaltstreich hat der Physikunterricht, wenigstens des Gymnasiums, bisher sympathisiert und sich damit um seinen Erfolg gebracht (erkennbar bei den erwachsenen Nichtphysikern). Ein Aspekt kann nur dann durchschaut werden, wenn man tätig dabei ist, wie er wird.“ (Wagenschein, Kinder auf dem Wege zur Physik, 2003, Seite 12).

Zweifelsohne lassen sich für beide Unterrichtsformen, wie sie Grimsehl und Wagenschein befürworten, vorteilhafte und auch weniger zu begrüßende und zu unterstützende Gründe anführen. In der Ausführung von Experimenten, wie sie Grimsehl in seiner Schule im Gegensatz zu einer theoretisch geprägten Unterrichtsform leidenschaftlich vorantrieb, war die Begegnung mit der „realen“ Welt der Gegenstände und ihren Eigenschaften sicherlich ein großer Gewinn. In welchem Maße theoretische Betrachtungen und Fragestellungen in direkter Anlehnung an die Lehre der Physik und ihre Übertragung auf reale Verhältnisse von Schülerinnen und Schülern mehrheitlich bleibend verinnerlicht wurden, sicherlich eine andere zu stellende Frage. Es darf natürlich kein Zweifel darüber aufkommen, dass etwa theoretische Betrachtungen, insbesondere in der Sekundarstufe 2, vermieden werden sollten. Im Gegenteil, für einen nachhaltigen und fruchtbaren Lernvorgang ist ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der Planung, der Ausführung von Experimenten und deren theoretischen Überarbeitungen anzustreben.

Unterrichtsformen, die ihren Ausgang in Gesprächen von kindlichen und jugendlichen Beobachtungen, Wahrnehmungen und Fragestellungen in der physikalisch-technischen Welt nehmen, sprechen mit hoher Wahrscheinlichkeit immer eine größere Schülerzahl in Klassen an und regen dann zu deren Klärung durch

aktiveres Mittun an. Auch Wagenschein hebt dies hervor und unterstreicht ergänzend, dass selbst durchgeführten Handlungen ein hoher Stellenwert beizumessen ist. Er stellt fest: „Man muss dabei gewesen sein - [beim Erleben eines Versuchsablaufes -Autor-] - ja, man muss es selbst getan haben. Das ist ein allgemeiner pädagogischer Grundsatz, aber in kaum einem anderen Fach ist er so unabweisbar und so erfüllbar, da Physik immer ein Tun ist.“ Die Notwendigkeit einer grundlegenden, auch teilweise abgeschlossenen Bildung aller jungen Menschen erhärtet Wagenschein dann mit den folgenden Sätzen:

„Die Mehrheit unserer Zeitgenossen wird zwar dem Lehrer der Naturwissenschaften diese Anerkennung - die Anerkennung der Naturwissenschaften als eines gewichtigen, die heutige Welt bestimmenden Faktors - Autor - nicht versagen und ihm versichern - mehr als ihm vielleicht lieb ist - : Nein, es geht natürlich nicht an, dass man in einer Zeit, der die Naturwissenschaften „ihren Stempel aufgedrückt haben“, vergesse, dass die Schüler, auch der Volksschule, als künftige „brauchbare Mitglieder“ der Gesellschaft, gegenüber den „zeitnahen“ Anforderungen ein „allseitiges“ und „zu einem gewissen Abschluss gebrachtes“ Wissen mitbringen müssen, auch über das Neueste und Aktuellste, und von Radio bis Radar, von der Kernspaltung bis zum expandierenden Universum „etwas gehört haben“ sollten.“ (Wagenschein, Die pädagogische Dimension der Physik, 1971, Seite 99 und 100).

In welchem Maße und in welcher Tiefe es nun gelingt, diese anspruchsvollen Inhalte unter kindlicher und jugendlicher Betrachtungsweise Schülerinnen und Schülern nahe zu bringen, bleibt insbesondere für Lehrende eine immer erneut zu stellende und dann auch begründend zu beantwortende Frage.

Auch in neuerer und insbesondere in gegenwärtiger Zeit sind in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung vielfältige Anstrengungen wahrzunehmen, die in Anpassung an gesellschaftliche, technische Veränderungen, und insbesondere an die Lernpsychologie mit dem Ziel auf eine gesteigerte naturwissenschaftliche Allgemeinbildung der jungen Menschen veränderte methodisch-didaktische Ausrichtungen und Orientierungen in Lernprozessen anstreben.

Beispielhaft und keineswegs vollständig werden hier für den deutschen Sprachraum im Folgenden einige Namen von naturwissenschaftsdidaktischen Wissenschaftlern wie Jung, Muckenfuss, Wiesner, Müller, Hopf, Häußler, v. Rhöneck, Duit, Wilke und von Autoren zur Lernpsychologie wie Vester, Klafki, Korte, Spitzer und Roth genannt, aus deren Wirken der Lernforschung wichtige und für die Unterrichtsgestaltung hilfreiche Impulse und Erkenntnisse zuteil wurden. Hodson und Kirschner haben insbesondere der Erziehungswissenschaft in englischer Sprache beachtenswerte Hinweise und Überlegungen vermittelt. Über einige von ihnen muss ihrer Erkenntnisse und neuer Einsichten wegen in der vorliegenden Forschungsarbeit ausführlicher berichtet werden.

Doch zunächst ist es auch im naturwissenschaftlichen Bereich von erheblicher Bedeutung, im Interesse erfolgreicher, effektiver methodisch-didaktischer Unterrichtsgestaltung über weitere Lehrformen Informationen einzuholen. Welche Lehr- und Lernformen werden beispielsweise im englischen Sprachraum diskutiert, wie ihre Erfolge in der Umsetzung beurteilt? Es gilt also über die engeren sprachlichen Grenzen

Deutschlands hinaus abzuwägen, ob veränderte Lehrformen erwartete höhere Lern- und Lehrerfolge erbringen könnten. Die Beantwortung dieser Fragen erfordert zunächst die Kenntnis wissenschaftlich erarbeiteter Untersuchungsergebnisse. Sie gilt es im Folgenden darzustellen.

1.3. Darstellung unterschiedlich geprägter Unterrichtsformen in der Physik

In der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung werden insbesondere gegenwärtig immer wieder zwei unterschiedliche Unterrichtsformen einander gegenübergestellt. Der kognitivistisch geprägte Unterricht wird mit der konstruktivistisch bestimmten Art der Lehrunterweisung verglichen. Innerhalb beider Formen der Unterrichtsgestaltungen bestimmt darüber hinaus das Maß der Führung durch die Lehrenden im Vergleich zur eigenen Erkenntnisgewinnung durch die Lernenden selbst den Lernvorgang erheblich. Im Folgenden soll, stark vereinfacht, versucht werden, wesentliche Unterschiede beider Unterrichtsformen darzustellen.

Der kognitivistisch geprägte Unterricht

„Auch heute noch ist die Erfahrung vieler Lernender quer durch alle möglichen Bildungseinrichtungen davon geprägt, dass Lehren und Lernen in Umgebungen stattfindet, in denen der Lehrende den aktiven und der Lernende den passiven Part übernimmt. Systematisches Lernen und Lehren, Frontalunterricht, strenge Fächergrenzen und strikte Lernerfolgskontrollen prägen daher nach wie vor den Eindruck, den ein Großteil des Unterrichtes bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen gleichermaßen hinterlässt.“ (Reinmann-Rothmeier u. Mandl, 1999, Seite 8).

In stärker frequentierten Klassen mit begrenzter Stundenzahl in Physik wird meist dieser Unterrichtsform der Vorzug gegeben. Von Lehrenden durchdachte, strukturierte, allgemein bekannte und wissenschaftlich geprüfte Inhalte gilt es, Lernenden nahezubringen. Diese haben die Aufgabe, dargebotene Inhalte aufzunehmen, zu übernehmen, an bereits Erlerntes anzuknüpfen, zu speichern. Inhalte experimentell selbst zu überprüfen ist kaum möglich, vielfach auch nicht vorgesehen, denn der ausgebildete Unterrichtende vermittelt erfahrungsgemäß nur Erprobtes und Gültiges. Der Wissenszuwachs der Schülerinnen und Schüler wird nach Abschluss von Unterrichtseinheiten meist schriftlich, aber auch mündlich, festgestellt und bewertet.

Erlerntes im Unterricht unmittelbar oder auch hernach zu prüfen, selbst anzuwenden, unterbleibt in der Regel aus Mangel an notwendigen Geräten, aber auch aus Zeitgründen und oft an Gelegenheiten und möglicherweise auch aus fehlendem Interesse. In welchem Umfang und in welcher Tiefe erworbenes Wissen geschaffen, verankert und auch in Einzelfällen angewendet wurde und nicht zu „totem“ Wissen wurde, ist kaum nachweisbar.

Es erhebt sich aus diesem Grunde die Frage, ob ein seit vielen Jahrzehnten in dieser Weise vielfach durchgeführter Physikunterricht zur Steigerung des Lerneffektes und des Schülerinteresses sich verändern lässt. Es ist die Frage zu beantworten, ob ein Unterricht, in dem Lernende aktiver mitarbeiten, als fruchtbarer bezeichnet werden kann. Konstruktivistisch gestalteter Unterricht scheint nach mehreren Untersuchungen diese Feststellung zu bestätigen.

Der konstruktivistisch geprägte Unterricht

„Wenn Unterrichten zum Problem wird - dieser Gedanke, der in der Einführung dieses Kapitels kurz angerissen wurde, trägt vor allem Züge der kognitivistisch gefärbten Auffassung von Lehren und Lernen. Es sind wohl vor allem die praktischen Probleme, die die Gemüter erhitzen und neue Unterrichtsformen dringend erforderlich erscheinen lassen. Doch wie lässt sich träges Wissen vermeiden, wie sind Lernende zu Eigenaktivität und Eigenverantwortung zu motivieren, wie kann neues Wissen mit sinnvollen Kontexten und relevanten Handlungen verknüpft werden?

Das sind Fragen, auf die es keine Antworten in Form standardisierter Regeln gibt, wie sie etwa im Rahmen des Instructional Design angestrebt werden. Lösungsansätze werden derzeit vor allem von konstruktivistischem Gedankengut erwartet, das auch in der Pädagogischen Psychologie mehr und mehr an Bedeutung gewinnt.“ (Reinmann-Rothmeier und Mandl, 1999, Seite 20).

Im Physikunterricht Lernende selbst Antworten auf eigene oder auch im Gespräch erarbeitete Fragen finden zu lassen, stellt mit Sicherheit auf den ersten Blick ein anspornendes und belebendes methodisch-didaktisches Moment dar. In der Regel sollten dabei von der Fragestellung bis zur Findung einer eigenen Antwort Gedankenabläufe in den Lernenden ablaufen, die eine bleibendere bildende Wirkung haben als etwa passiv aufgenommene Aussagen von Lehrenden. Im Physikunterricht nehmen unter diesem Blickwinkel natürlich Versuche als ‚Fragen an die Natur‘ eine besondere Stellung ein. Selbst geplant und ausgeführt bestätigen, ergänzen, widerlegen, korrigieren sie eigene Vorstellungen ohne Zwischenschaltung von Unterrichtenden.

Zweifellos haben solche unmittelbar selbst erlebten Erfahrungen eine besonders nachhaltige Wirkung bei den Schülern und Schülerinnen. Wissen und manuelles Können werden zudem schrittweise aufgebaut, erweitert und sind nicht als fertiges Gedankengebäude, von Physikern entwickelt, zu übernehmen. Verfechter konstruktivistischen Unterrichtes erwarten, dass ein so aufgebautes Wissen und manuelles, experimentelles Können nachhaltiger und tiefer im Bewusstsein verankert werden. Vor allem sollen aber Desinteresse und möglicherweise aufkommende Langeweile im Unterricht durch eigene Aktivitäten der Lernenden gar nicht erst entstehen.

Es sollte aber auch die Frage beantwortet werden, ob Schülerinnen und Schüler überhaupt Fragen stellen, die auf der Basis ihres Wissens und Könnens zufrieden stellend und sinnvoll beantwortet werden können. Plan- und zielloses Handeln sollte um jeden Preis vermieden werden.

Wenn diese Unterrichtsform im Schulalltag allgemein weniger als erwartet durchgeführt wird, so sind vor allen Dingen folgende Hinderungsgründe zu nennen. In stärker frequentierten Klassen ist es nahezu undurchführbar, allen einzelnen Jugendlichen die jeweils notwendigen Freiräume zu bieten. Zum Entwickeln von überzeugenden eigenen Fragen und deren Vorschlägen zu ihrer Beantwortung, zum Auf- und Abbau von Schülerversuchen und zur genaueren Erkundung von Sachverhalten werden größere Zeiträume benötigt. Unterrichtsstunden im 45-Minuten-Takt sind für einen konstruktiv ausgerichteten Unterricht kaum oder gar

nicht geeignet. Schließlich ist es erforderlich, über eine größere Zahl von Arbeitsplätzen und auch von Arbeitsgeräten zu verfügen. Zudem bedarf in vielen Situationen der zufriedenstellende Umgang mit Geräten, besonders der mit empfindlichen Messinstrumenten, einer ausreichenden Anleitung durch Lehrende, um größere Schäden zu vermeiden. Gerade in der Vermittlung von Sachverhalten in der Elektrizitätslehre sollte dieser Gesichtspunkt eine besondere Beachtung finden.

In kleinen Schülergruppen lassen sich natürlich konstruktivistisch geprägte Unterrichtsformen im Rahmen eines Kursprogrammes durchführen. Sind ein Lehrender, ein genügend großer Arbeitsraum und eine ausreichend große Zahl von Arbeitsgeräten vorhanden, sollte diese Unterrichtsform im Kursbetrieb einzelnen Lernenden im Interesse einer höherwertigen Bildung angeboten und dann auch umgesetzt werden.

1.4. Inquiry-based Learning – ein durch eigenes forschendes Lernen der Schüler konstruktivistisch geprägter Unterricht

Naturwissenschaftlichen Unterricht so zu gestalten, dass Schülerinnen und Schüler in diesem erworbene Kenntnisse und experimentelle Fähigkeiten als für sie hilfreich und lohnenswert empfinden, wird ihre Bereitschaft zur Mitarbeit mit hoher Wahrscheinlichkeit steigern. Sich um einen erfolgreichen Unterricht zu bemühen, stellt somit ein erstrebenswertes Ziel für jeden Unterrichtenden dar. Welche methodisch-didaktischen Grundvoraussetzungen erfüllt sein müssen, Lernvorgänge erfolgreich und effektiv zu beeinflussen, diesbezügliche Fragen stellen sich bereits in den Unterrichtsvorbereitungen Lehrender immer erneut. Sie sollten daher besonders beachtet und ihre Antworten schließlich auch umgesetzt werden, um die Jugendlichen beim Aufbau eines eigenen und realistischen physikalisch-technischen Weltbildes zu unterstützen. Diese Voraussetzungen zu erkunden und zu schaffen, ist angesichts der Komplexität von Faktoren, die Lernvorgänge bestimmen, eine sich für jede Unterrichtssituation immer wieder stellende Aufgabe. Insbesondere ist sie auch für die naturwissenschaftsdidaktische Lernforschung von hohem Wert, deren Ergebnisse Allgemeingültigkeit erlangen sollen.

Die Vielzahl der Veranstaltungen auf der Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik 2012 in Hannover kennzeichnet in besonderer Weise, wie unterschiedlich und umfangreich in der Forschung gegenwärtig Lehrinhalte und Formen ihrer Erarbeitung in verschiedenen Schulformen sind und lernwirksamer gestaltet werden sollen. Es muss hier überdies angemerkt werden, dass über die Forschung in Deutschland hinaus auch erziehungswissenschaftliche Erkenntnisse in den USA und Englands erheblichen Einfluss auf Erziehungsfragen im deutschen Sprachraum genommen haben. Sie sollten nicht unbeachtet bleiben, weil sie zur Klärung hiesiger Verhältnisse beitragen können.

In der Erörterung von Bildungsfragen spielen hier wie dort natürlich besonders die zu unterweisenden Jugendlichen als Lernende eine zentrale Rolle. Ihr Alter, ihr Bildungsstand, ihre Arbeitshaltung, ihr Vorwissen bestimmen in hohem Maße nicht nur die Wahl der zu vermittelnden Bildungsinhalte, sondern auch die anzuwendende methodisch-didaktische Herangehensweise ihrer Erarbeitung. Die gegenwärtig oft im Rahmen konstruktivistischer Lehrformen genannte sehr anspruchsvolle offene Lernform ist wohl mit

Sicherheit in den meisten Unterrichtssituationen in Schulen in ihrer „reinen und letztlich angestrebten“ Form - Schüler sollen als selbständige Forscher tätig sein - kaum umsetzbar. Vielmehr bedarf es zur Vermeidung überhöhter Erwartungen und Überforderungen Lernender abgestufter Anleitungen der vermittelnden Lehrpersonen mit entsprechenden Freiräumen; nicht zuletzt wegen hoher Klassenfrequenzen, nicht ausreichender Ausstattungen von Gerätesammlungen und schließlich sehr begrenzter Lernzeiten in den Schulen. In diesem Sinne ist in vorliegender Arbeit zunächst auch der Begriff Inquiry-based-Learning - forschendes Lernen - im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten in Schulen als erkundendes und angeleitetes Lernen zu verstehen.

Es stellt sich insbesondere die Frage, welche Momente konstruktivistischer Unterrichtsformen im Physikunterricht in Schulen in erster Einschätzung als vorteilhaft, welche als nachteilig zu bezeichnen sind, wenn es gilt, auch experimentelle Lösungen durch Schülerhand zu finden? Die folgende Übersicht stellt einige Vor- und Nachteile dar.

Konstruktivistisch geführter Unterricht:

Vorteile selbständigen Planens und Handelns der Lernenden im Physikunterricht:

- Schüler und Schülerinnen haben einen unmittelbaren Kontakt zu den Geräten und Gegenständen, deren Funktionen es aus eigenem Antrieb kennenzulernen, zu erleben und zu untersuchen gilt; dadurch wird eine unmittelbare, echte Nähe zur Physik und Technik hergestellt und der Abbau von Vorbehalten zur Naturwissenschaft mit hoher Wahrscheinlichkeit eingeleitet.
- Entsprechend eigener Vorstellungen können Lernende selbst durch schrittweises experimentelles Vorgehen Antworten auf gestellte Fragen finden; ein Schülerversuch wird dadurch zu „ihrer eigenen Angelegenheit“; überdies wird ihnen bewusst, dass physikalische Abläufe in Abhängigkeit von ihrer eigenen Tätigkeit versteh- und voraussagbaren Regeln und Gesetzmäßigkeiten folgen.
- Das unmittelbare Erleben von Einflussnahme und nachfolgenden Wirkungen in Versuchsaufbauten und Schaltkreisen veranlasst Lernende häufiger zu weiterem Erkunden und Hinterfragen physikalisch-technischer Zusammenhänge und erweitert damit natürlicherweise den Kenntnisstand der Lernenden.
- Die Auswertung von Versuchsdaten schärft in den meisten Fällen auf Grund eigenen Findens kritisches Denken, baut Vorurteile ab, schafft Sachlichkeit, stärkt häufig das Selbstwertgefühl und schafft schließlich ein erhöhtes Umweltbewusstsein.

Nachteile und Gefahren allzu großer Freiräume für Jugendliche im selbständigen Handeln:

- Das Fehlen einer eindeutigen Zielvorgabe veranlasst in stärker frequentierten Klassen allzu schnell zu planlosem Handeln und damit zum Verlust kostbarer Lernzeit.

- Ein planvolles, zielstrebiges Handeln ist in der Regel nur in ganz kleinen Arbeitsgruppen von zwei bis drei Schülern möglich; in größeren Gruppen stören Schüler einander.
- Erfolgloses Experimentieren kann sehr schnell zu Enttäuschungen und einer inneren Abkehr von den Naturwissenschaften führen.
- Hilflöser und ungeübter Umgang mit empfindlichen Messinstrumenten und Stromversorgungsgeräten bewirkt beispielsweise vermeidbare Gefahren, Schäden und hohe Kosten.
- Misserfolge im Physikunterricht schaffen Unsicherheiten, Ängste und eine innere Ablehnung gegenüber den Naturwissenschaften mit letztlich auch negativen gesellschaftlichen Folgen.

Die aufgezeigte Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen konstruktivistischer Unterrichtsformen lässt erkennen, - so groß zunächst die erste Begeisterung und Zustimmung für ein schülerbestimmtes Vorgehen auch sein mag - dass wahrscheinlich in Jahrgängen der Unter- und Mittelstufe erst eine abgestufte Lehrerführung unter Beurteilung der Arbeitshaltung, des Wissensstandes und des experimentellen Könnens einer Klasse den angestrebten höheren Lernerfolg bringen kann. In Klassen der gymnasialen Oberstufe und in Berufsschulen wird bei zielstrebigem Arbeitshaltung eigenständiges Forschen durchaus Erfolge zeitigen und das Interesse an der Physik steigern.

Veränderte Anforderungen an Unterrichtende im konstruktivistisch geführten Unterricht:

Plant ein Physiklehrer im Zuge einer Ablösung von traditionellen kognitivistischen Unterrichtsformen einen Unterricht auf mehr erkundender und auch forschender Grundlage in den Mittelstufenklassen im Sinne des „Inquiry-based-Learnings“, so wird er sein bisheriges Verhalten im Unterricht verändern müssen:

- Er wird Jugendliche nicht in erster Linie nach Plan und vornehmlich durch das Wort informieren, belehren, wie auch immer, und prüfen, sondern, von diesen befragt, unterstützende und weiterführende Antworten geben müssen.
- Er wird in Unterrichtsvorbereitungen genügend technisches Arbeitsmaterial bereitstellen müssen, um eventuelle Mängel zu überwinden.
- Zur zielsicheren Beantwortung von eventuellen Schülerfragen wird er über ein gesichertes und solides Grundwissen der anstehenden Sachfragen verfügen müssen.
- Das Augenmerk des Lehrers wird insbesondere auch auf Gefahrenmomente und ihre Vermeidung gerichtet sein müssen.

Ablösung von traditionellen Unterrichtsformen:

Ein konstruktivistisch geführter Unterricht wird nur dann als gelungen und erfolgreich betrachtet werden können, wenn die erbrachten Schülerleistungen im Durchschnitt nachweisbar mindestens gleichwertig oder besser als die in herkömmlichen Unterrichtsformen erbrachten sind.

1.5. Konstruktivistisch geführter Unterricht im Urteil P. A. Kirschners

Es erhebt sich für den Lehrenden eine weitere, nicht minder wichtige Fragestellung. Lassen sich die in den Lehrplänen deutscher Bundesländer aufgestellten Unterrichtsziele überhaupt in vollem und verantwortbarem Umfang umsetzen, wenn er sich in seinem Unterricht für konstruktivistische oder „Inquiry-based“-Lehrformen entscheidet? Es stimmt schon nachdenklich und bedarf einer genaueren Überprüfung, wenn der weltweit anerkannte niederländische Forscher für Erziehungspsychologie, P. A. Kirschner, in seiner umfangreichen wissenschaftlichen Untersuchung „Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching“ feststellt, dass weniger geführte Unterweisungen bei Lernenden geringere Lernerfolge aufweisen. (Kirschner, Sweller, Clark, 2006, Seiten 75-86).

Über die Folgen in menschlichen Denkvorgängen des Erkennens während einer minimal geführten Unterweisung stellt Kirschner fest:

„Any instructional procedure that ignores the structures that constitute human cognitive architecture is not likely to be effective. Minimally guided instruction appears to proceed with no reference to the characteristics of working memory, long-term memory, or the intricate relations between them. The result is a series of recommendations that most educators find almost impossible to implement - and many experienced educators are reluctant to implement - because they require learners to engage in cognitive activities that are highly unlikely to result in effective learning. As a consequence, the most effective teachers may either ignore the recommendations or, at best, pay lip service to them (e. g. Aulis, 2002).“

Kirschner setzt sich in seiner Untersuchung, ausführlich begründend, mit der Art und Weise menschlichen Erkennens auseinander und gelangt unter Nennung von Beispielen zu dem Schluss, dass verkürzte, minimale Anweisungen ausführlicheren gegenüber unterlegen sind. Konstruktivistische Lehrformen im weiteren Sinne mit nur minimaler Anleitung können daher nicht gleichwertige Lernerfolge wie umfangreicher geführte aufweisen.

In dem Bestreben, erfolgreich physikalisch-technische Sachverhalte im Unterricht zu vermitteln, wird der bemühte Unterrichtende sich folglich gegenwärtig weitere Hilfen und andere Orientierungspunkte als die aus der Wissenschaft gegebenen suchen müssen. Über diese hinaus bieten die Rahmenpläne der deutschen Bundesländer in Anlehnung an Beschlüsse der Kultusministerkonferenzen hilfreiche Leitlinien an. Beispielhaft wird im Folgenden ein richtungsweisender Auszug für den naturwissenschaftlichen Unterricht aus dem niedersächsischen Rahmenplan angeführt.

1.6. Im Physikunterricht Jugendlichen eine naturwissenschaftliche Bildung vermitteln

Im niedersächsischen Lehrplan „Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss“ werden, übertragbar auf die übrigen deutschen Bundesländer, Bildungsziele unter dem Aspekt gesellschaftlicher Erwartungen wie folgt beschrieben:

„Naturwissenschaftliche Grundbildung ermöglicht dem Individuum eine aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung über technische Entwicklung und naturwissenschaftliche Forschung und ist deshalb wesentlicher Bestandteil von Allgemeinbildung.

Ziel naturwissenschaftlicher Grundbildung ist es, Phänomene erfahrbar zu machen, die Sprache und Historie der Naturwissenschaften zu verstehen, ihre Ergebnisse zu kommunizieren sowie sich mit ihren spezifischen Methoden der Erkenntnisgewinnung und deren Grenzen auseinanderzusetzen. Dazu gehört das naturwissenschaftliche Arbeiten, das eine analytische und rationale Betrachtung der Welt ermöglicht.

Damit muss der naturwissenschaftliche Unterricht alle Fähigkeiten, die als Scientific Literacy zusammengefasst werden, vermitteln: 'Naturwissenschaftliche Grundbildung (Scientific Literacy) ist die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, welche die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen.' (OECD, 1999).

„Darüber hinaus bietet naturwissenschaftliche Grundbildung eine Orientierung für naturwissenschaftlich-technische Berufsfelder, schafft Grundlagen für anschlussfähiges, berufsbezogenes Lernen und eröffnet somit Perspektiven für die spätere Berufswahl.“

(Niedersächsisches Kultusministerium, Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss, 2004, Seite 7).

Des Weiteren wird in gleicher Quelle festgestellt:

„Naturwissenschaft und Technik prägen unsere Gesellschaft in allen Bereichen und bilden heute einen bedeutenden Teil unserer kulturellen Identität. Das Wechselspiel zwischen naturwissenschaftlicher Erkenntnis und technischer Anwendung bewirkt einerseits Fortschritte auf vielen Gebieten, andererseits birgt die naturwissenschaftlich-technische Entwicklung auch Risiken und Gefahren, die erkannt, bewertet und beherrscht werden müssen.

Auf der Basis des Fachwissens erhalten die Schülerinnen und Schüler Gelegenheit, ethische Maßstäbe zu entwickeln. Gleichzeitig fördert der naturwissenschaftliche Unterricht auch die ästhetische und emotionale Beziehung der Schülerinnen und Schüler zur Natur und befähigt sie, selbständig Sachverhalte zu erschließen, sich zu orientieren und Verantwortung für sich und andere zu übernehmen.“

Es ist verständlich, dass aus dieser hier nur kurz umrissenen Beschreibung der die Naturwissenschaften tangierenden Sachverhalte und Aufgabenbereiche Erwartungen und auch Forderungen der Gesellschaft an Schulen erwachsen, entsprechend befähigte junge Menschen zur Lösung der anstehenden Aufgaben heranzubilden. So heißt es verständlicherweise u.a. im ‚Bildungsbeitrag der Naturwissenschaften‘:

„Daraus folgt unmittelbar, dass im naturwissenschaftlichen Unterricht Kompetenzen aus unterschiedlichen Bereichen erworben werden müssen. Sachkenntnis und Methoden der naturwissenschaftlichen

Erkenntnisgewinnung sind dabei ebenso von Bedeutung wie Kommunikationsfähigkeit und reflektierte Anwendung der erworbenen Kompetenzen im Alltag.“

(Niedersächsisches Kultusministerium, Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss, 2004, Seite 11).

Die mit dem mittleren Abschluss angestrebten Kompetenzen der Lernenden werden anschließend in die vier Bereiche: Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung unterteilt, in denen jeweils Lernzielangaben für eine erwartete Grundbildung genannt werden.

Eine Erkenntnisgewinnung soll insbesondere durch die Tätigkeiten des Wahrnehmens, des Ordners, des Erklärens, des Prüfens und durch Bildung von Modellen im Rahmen der Themen der Mittelstufenphysik erfolgen. Diese Unterrichtsziele werden in hohem Maße durch eigenes Erkunden abgedeckt.

1.7. Der Schülerversuch in der Bewertung einiger Wissenschaftler der Fachdidaktik Physik

Als Frage an die Natur - beziehungsweise an die Technik - nimmt der Schülerversuch im Physikunterricht eine besondere Stellung ein. Nach gelungener Durchführung gibt er in der Regel erste Antworten auf meist von Jugendlichen gestellte Fragen. Insbesondere der von Schülerhand ausgeführte Versuch schafft zudem einen engeren Bezug zur Realität, das heißt zu besonderen physikalisch-technischen Sachverhalten und auch zu Arbeitsweisen ihrer Erkundung. Die Annahme, diese methodisch-didaktische Vorgehensweise müsse einhellig zu befürworten sein, ist jedoch nicht in jedem Fall gegeben.

Im Folgenden gilt es, einige unterschiedliche Bewertungen, positive aber auch einschränkende, aufzuzeigen, darzustellen und vor allen Dingen deren Begründungen in der Hoffnung zu erfahren, künftig gravierende Fehler zu vermeiden.

1. Schülerversuche im Urteil H.-J. Wilkes

Die besondere Bedeutung von Schülerversuchen unterstreicht auch H.-J. Wilke in seinem Beitrag „Physikalische Schülerexperimente - Vorzüge, Erfahrungen und Probleme.“

Er hebt zunächst hervor, dass Demonstrationsversuche im Physikunterricht bei gut durchdachter Strukturierung eine rationelle Wissensvermittlung ermöglichen. Wenn auch einige Schüler dabei mit tätig werden, so gibt es doch Grenzen, die erst durch Schülerversuche überwunden werden können. Beim Selbsttätigwerden gewinnen die Lernenden mehr Selbstvertrauen zu und in den neuen erarbeiteten Wissensbereichen, verbessern Aktivitäten wie Engagement, Sorgfalt, Ausdauer und nicht zuletzt mehr manuelle Sicherheit im Erstellen von Versuchsaufbauten.

Im Einzelnen nennt H. J. Wilke die folgenden Vorteile:

- Im Schülerexperiment werden alle Schüler tätig.
- Die Schüler setzen sich intensiver als beim bloßen Vorführen von Demonstrationsexperimenten mit dem Gegenstand auseinander; sie „begreifen“ ihn und können das Arbeitstempo in Grenzen selbst bestimmen.

- Der Lehrer kann den Aneignungsprozess der Schüler steuern; er kann differenziert auf sie einwirken.
- Die Schüler wenden wissenschaftliche Arbeitsmethoden selbständig an. Sie erwerben außer dem Wissen auch Können, Fertigkeiten, Einsichten und Überzeugungen. Experimentelle Schülerübungen simulieren ähnliche Situationen, wie sie später in der Berufsarbeit der Schüler auftreten.
- Schülerexperimente können die Schüler zu ausgeprägten Erfolgen führen und helfen, dass sich wichtige Persönlichkeitsqualitäten der Schüler wie Zielstrebigkeit, Ausdauer, Kommunikativität und Kooperativität herausbilden.

H. J. Wilke führt abschließend an, dass experimentell gewonnene Kenntnisse der Schüler im Physikunterricht einiger neuerer Bundesländer Deutschlands, nachgewiesen durch zentrale Auswertungen, „höher“ zu bewerten waren als herkömmlich gewonnene, ohne Versuchsdurchführungen. (Wilke, 1993)

2. L. C. McDermott: What we teach and what is learned – Closing the gap

Die naturwissenschaftsdidaktische Forscherin L. C. McDermott beschreibt in einem umfassenden Forschungsbericht von 1991 die unterrichtliche Situation im Physikunterricht der Schulen in den Vereinigten Staaten von Amerika. Die Frage, wie physikalische Inhalte den Lernenden vermittelt wurden und wie diese dann nach dem Sputnik-Schock überzeugender und nachhaltiger im Interesse fundierteren Verstehens gelehrt werden sollten, bildet einen wichtigen Teil dieser Forschungsarbeit. Im 6. Kapitel, genannt „Development of a Laboratory-Based Curriculum,“ hebt sie die Unterrichtsform „Physics by Inquiry“, erforscht im Rahmen eines Langzeitprojektes, hervor und kommt zu folgenden vier Thesen, die nach ihrer Auffassung größere Unterrichtserfolge versprechen:

1. These: Begriffe, logisches Denken und repräsentative Fähigkeiten sollten in zusammenhängenden Themenblöcken entwickelt werden,

(Concepts, reasoning ability, and representational skills should be developed in a coherent body of subject matter)

2. These: Physikalische Inhalte sollten in einem Prozess des Fragens und Erforschens gelehrt werden, nicht als ein träger Informationsinhalt,

(Physics should be taught as a process of inquiry, not as an inert body of information)

3. These: Die Fähigkeit, Beziehungen zwischen den Formeln in der Physik und realen Vorgängen in der Welt zu knüpfen, muss ausdrücklich entwickelt werden.

(The ability to make connections between the formation of physics and real world phenomena needs to be expressly developed)

4. These: Bestimmte Lernschwierigkeiten, mit denen sich Schüler und Studenten in der Physik auseinander zusetzen haben, müssen ausdrücklich angesprochen werden.

(Certain common difficulties that students encounter in physics need to be explicitly addressed)

McDermott berichtet des Weiteren über Lern- und Verstehensschwierigkeiten der Schüler und Studenten beim Erfassen von physikalisch-technischen Abläufen. An folgendem Beispiel aus der elementaren Elektrizitätslehre soll das insbesondere dargestellt werden. Sie beschreibt zusammenfassend unter dem Titel: „Example from research: failure to rank bulbs in 3 simple dc circuits in order of brightness“ folgende Situation:

Physikstudenten der Washingtoner Universität, die in einer Gruppe für Vorlesungen zur Einführung in die Infinitesimal- und in einer zweiten für die Algebrarechnung registriert waren, sollten als Teil einer regulären Prüfung an Hand der drei folgenden Schaltpläne die gleichwertigen Lämpchen entsprechend ihrer Helligkeit bei gleich starken Spannungsquellen in den Schaltkreisen ordnen. Die Studenten hatten das Wissen über elektrische Stromkreise und das Ohmsche Gesetz bereits erarbeitet.

Schaltpläne der drei Stromkreise: (siehe Abbildung 1)

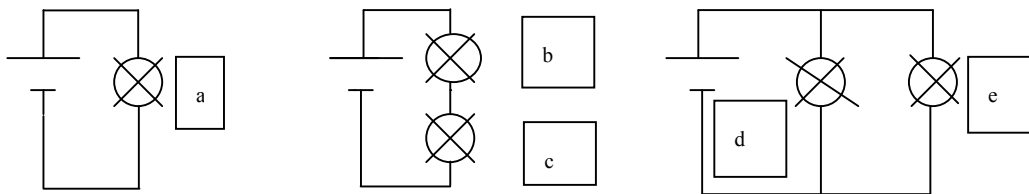


Abbildung 1: Schaltpläne für Prüfungsaufgaben an der Washingtoner Universität

Richtige Antworten: $d = e = a > b = c$; (Die Lämpchen d, e, a leuchten gleich hell, aber stärker als die Lämpchen b und c jeweils).

McDermott bemerkt zusammenfassend weiterhin:

Ergebnisse der relativen Helligkeiten vorauszusagen, dazu ist es ausreichend, über Widerstandswerte bei gleichen Ausgangsspannungen in den einzelnen Stromzweigen nachzudenken. Der Widerstandswert bestimmt die Stromstärke. Je größer diese Stärke, desto heller die Lampe. Berechnungen sind nicht erforderlich.

Die Kursleiter, die nicht Teilnehmer unserer Auswertungsgruppe waren, zögerten, solche einfachen Prüfungsaufgaben in die Examensprüfung mit einzubeziehen. Sie glaubten, es würde nicht ausreichen, unter den Studenten Leistungsunterschiede festzustellen. Diese Befürchtung war berechtigt, aber nicht in der Sicht der Kursleiter. Im „Algebrakurs“ lösten unter 105 Studenten 10% die Aufgabe korrekt, im „Infinitesimalkurs“ konnten unter 135 Studenten nur 15% die Lampen bezüglich ihrer Helligkeit richtig einordnen.

In der Auswertung des beschriebenen Testergebnisses stellt McDermott unter der Überschrift „Specific difficulties: common misconceptions about electric circuits“ fest:

Fast alle möglichen Anordnungen der Lämpchen erschienen in den Antworten. Die Analyse der Antworten zeigte, dass die Studenten zahlreiche Schwierigkeiten hatten, die dazu beitrugen, fehlerhaft zu antworten.

Die Auswertungsgruppe konnte verschiedene allgemeine Missverständnisse identifizieren, die auch andere Forscher fanden. Die folgend genannten gehören dazu:

- Strom wird von den Lampen in einem Stromkreis verbraucht,
- die Batterie ist eine konstante Stromquelle,
- die Stromrichtung ist von Bedeutung,
- ebenso die Aufgabe der Schaltelemente
- und der physikalische Ort des Schaltelementes.

Die Forscherin McDermott beschreibt weitere erkannte Fehler der Studenten in dieser Befragung und stellt fest:

Studenten offenbarten in ihren schriftlichen Antworten, dass es ihnen an klaren Vorstellungen mangelte. Solche würden sie befähigen, korrekte, qualifizierte Voraussagen über Vorgänge in einfachen Stromkreisen zu machen. Jedoch, auch ohne eine klare Vorstellung hätten sie fähig sein müssen, korrekte Antworten zu geben. Sie hatten die notwendigen mathematischen Fähigkeiten und kannten die Anwendung des Ohmschen Gesetzes bei der Lösung von Fragen in komplizierteren Stromkreisen. Obwohl nicht strikt angemessen, der korrekte Gebrauch der Formel hätte richtige Ergebnisse in der passenden Ordnung der Lämpchen entsprechend der Helligkeit erbracht. Konfrontiert mit einer einfachen aber nicht vorweg genommenen Situation konnten die Studenten nicht die notwendigen logischen Schlüsse vollziehen.

Des Weiteren berichtet die Autorin McDermott über unterweisende Lehrstrategien:

Wir - [Die Arbeitsgruppe McDermott ist gemeint-Autor] - haben herausgefunden, dass viele Studenten keine Erfahrungen mit einfachen Stromkreisen haben, die ihnen helfen könnten, Stromstärken, Spannungen und Widerstände in aktuellen Situationen zu erklären und wie diese Größen gebraucht werden können. Studenten könnten in eigener Initiative diese Konzepte verfeinern, die ihnen ermöglichen, beim Verändern von Schaltelementen in Stromkreisen Vorhersagen über Wirkungen zu machen.

Zur Behebung dieser Mängel stellt McDermott fest:

Eine effektive allgemeine Strategie, Studenten im Verstehen der Beziehungen zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand zu unterstützen, besteht darin, sie diese Größen in praktischen Versuchen mit Batterien und Lämpchen selbst entwickeln zu lassen. Basierend auf eigenen Beobachtungen an elektrischen Stromkreisen setzen Studenten deduktives und praktisches Erkennen ein, das sie befähigt, Voraussagen zu machen und Eigenschaften von Lämpchen in Stromkreisen unterschiedlicher Schaltpläne zu erklären.

Wir - [Eine Arbeitsgruppe McDermotts-Autor] - haben heraus gefunden, dass Studenten ohne besondere rechnerische Fähigkeiten einfache elektrische Schaltungen aufbauen können, die sie befähigen, die relative Helligkeit von Lämpchen in relativ komplizierten Schaltungen zu bestimmen. Ein ergänzender Vorteil ist,

dass sie durch diese experimentellen Erfahrungen einen Einblick in den wissenschaftlichen Aufbau des Sachverhaltes gewinnen. Sie erfahren, was er ist, wie er aufgebaut ist, wie man ihn nutzen kann und wo seine Grenzen liegen.

Im Folgenden hebt die Autorin dann die positive Bedeutung des experimentellen Handelns zur Korrektur von falschen Vorstellungen über den elektrischen Strom hervor. Beobachten, Erkennen und Anwenden sind dabei bedeutungsvolle Momente im Verstehen physikalischer Sachverhalte. (McDermott, 1991)

3. Derek Hodson – Bewertung von Schülerversuchen im englischen Sprachraum

Der englische Lehrer und Erziehungswissenschaftler Derek Hodson nimmt in seiner Schrift: „A critical look at practical work in school science“ eine sehr kritische Stellung zu erwarteten Erziehungszielen ein, die durch manuelles Tun der Jugendlichen in Schulen des englischen Sprachraumes erreicht werden sollten. Der Titel seines Beitrages verwundert den Leser allein schon deshalb, weil doch verbreitet zunächst die Auffassung gilt, haptisch, optisch und akustisch im Schülerversuch Aufgenommenes - gerade besondere Merkmale von Schülerversuchen - wirke bei Lernvorgängen besonders nachhaltig und sei daher positiv zu bewerten.

Im Folgenden werden, verkürzt und vom Autor dieser Arbeit übersetzt, einige grundsätzliche und auch für hiesige schulische Verhältnisse wesentliche und bedenkenswerte Aussagen seiner umfangreichen Ausführungen über Schülerversuche dargestellt, die genutzt werden sollten:

Hodson stellt fest, dass praktische Arbeiten in der Schule für Schüler nur einen geringen erzieherischen Wert haben. Die Ursache dafür liegt nach seiner Auffassung in einer Gedankenlosigkeit der Lehrer. („A major cause of the unsatisfactory nature of much school practical work is that teachers use it unthinkingly.“ (Hodson, 1990, Seite 33/34)).

Diese glauben, dass praktisches Tun ein universales Allheilmittel sei. Tatsächlich förderte eine Befragung von Lehrern, warum sie praktische Arbeiten ausführen lassen, verwirrende Rechtfertigungen zu Tage. Diese lassen sich nach Hodson in fünf Gruppen einteilen:

1. Motivieren durch Steigerung von Interesse und Freude. (To motivate, by stimulating interest and enjoyment)
2. Labortätigkeiten lehren (To teach laboratory skills)
3. Das Erlernen wissenschaftlicher Erkenntnisse erhöhen. (To enhance the learning of scientific knowledge)
4. Lernenden Einblicke in wissenschaftliche Arbeitsweisen verschaffen und deren Anwendung durch Üben entwickeln. (To give insight into method and develop expertise in using it)
5. Bestimmte Einstellungen zur Wissenschaft zu entwickeln, wie Aufgeschlossenheit, Objektivität und die Bereitschaft, verschiedene Meinungen gelten zu lassen. (To develop certain 'scientific attitudes',

such as open-mindedness, objectivity and willingness to suspend judgement. (Hodson, 1990, Seite 34).

Die genannten Zielvorstellungen bedürfen nach Hodson einer kritischen Untersuchung. Er stellt Fragen und beantwortet sie anschließend. Im Folgenden werden diese verkürzt und übersetzt zusammengefasst.

1. Motiviert praktisches Arbeiten Kinder? Gibt es alternative oder bessere Wege zur Motivation?

(“ Does practical work motivate children? Are there alternative or better ways of motivating?”)

Viele Kinder freuen sich im Unterricht über praktisches Tun, aber eben so viele auch nicht. Im Vergleich zu Lehrererwartungen nehmen Schülerinteressen über Versuchserfolge auch nicht immer in gleichem Maße zu. Studien haben gezeigt, dass Schüler im Allgemeinen praktische Tätigkeiten als weniger langweilig erachten. Ein Gutachten über 13-16 Jahre alte Schülerinnen und Schüler in mehreren Schulen Aucklands ergab, dass 57% praktisches Arbeiten wohlwollend erachten, 40% jedoch ihre Begeisterung wie folgt kommentieren: „Ich mag es gern, wenn ich weiß, was ich tue“ und „ich mag es nicht, wenn es schief geht.“

Hodson bemerkt weiterhin:

Vielleicht wären Aufforderungen zu Versuchen motivierender, wenn sie anregender und interessanter gestaltet würden. Häufiger sind sie schrecklich langweilig. Sie würden mehr Gewicht erhalten, wenn Schülerinnen und Schüler ihre eigenen Vorstellungen einbringen könnten und nicht Lehrervorstellungen folgen müssten. Nach Aussagen Auckländischer Schüler sollten Versuche, um eine größere Bedeutung zu erlangen, einen 'sichtbaren Anreiz' und ein 'positives Ergebnis' haben. „Erfolgreiches Arbeiten“ würde die Freude am Experimentieren erhöhen. Die gut dokumentierte Abnahme von Begeisterung der Schüler für praktisches Arbeiten mit zunehmendem Alter sollte zum Nachdenken über seine Gestaltung Anlass geben. Häufig erlauben wir jüngeren Kindern, sich unstrukturiert einzubringen, während wir von älteren gezielte Übungen verlangen, in einer Zeit, in der sie ihre Persönlichkeit aufbauen. Kein Wunder, dass ihr Interesse und ihre Begeisterung abnehmen.

Jüngere Schülerinnen und Schüler sind erfahrungsgemäß einfacher zu motivieren, etwa dadurch, ein Gerät zu bedienen oder Beobachtungen zu machen. Ältere zu motivieren erfordert eine kognitive Anregung, etwa die Erforschung von Ideen, die Untersuchung von Unstimmigkeiten oder die Konfrontation mit Problemen.

Hodson fährt fort:

Das voraufgehend Gesagte ist kein Versuch zu leugnen, dass praktisches Arbeiten einen motivierenden Wert hat. Eher ist es der Versuch, uns daran zu erinnern, dass die Erwartung, alle Kinder durch die selben Dinge zu motivieren, unrealistisch ist. Es gibt im naturwissenschaftlichen Unterricht auch andere einsetzbare Techniken mit hohem motivierendem Wert. Erinnert werden soll auch daran, dass einfaches „doing practical work“ diese Motivation nicht garantiert. Nach Hodson gilt dies nicht, wenn wir interessante und anregende Experimente bereit stellen und Kindern erlauben, in Maßen selbst forschend tätig zu sein. Lernende benötigen Interesse und eine Bindung an die Lehraufgabe. Beides verschaffen konventionelle Aufgaben häufig nicht. Eine solche Bindung entsteht, wenn das Experiment zur ‚eigenen Sache‘ wird - das wird es,

wenn das Experiment ein Problem umfasst, das interessant und wert ist, erkundet zu werden oder beim Entwerfen eines auszuführenden Versuchsplanes.

2. Erwerben Kinder durch praktische Übungen in der Schule die Fähigkeit, im Labor zu arbeiten? Ist der Erwerb dieser Fähigkeiten der Mühe wert?

(“Do children acquire laboratory skills from school practical work? Is the acquisition of these skills educationally worthwhile?”)

Hodson antwortet, verkürzt übersetzt, wie folgt:

Argumente für den Erwerb von Laborfähigkeiten lassen sich in zwei Gruppen einteilen: in allgemeine, übertragbare, für alle Kinder geeignete, und solche, die sich auf die Entwicklung von handwerklichen Fähigkeiten mit dem Blick auf künftige Wissenschaftler und Techniker beziehen. In moralischer Hinsicht sind die letzteren Argumente zweifelhaft und überehrgeizig. Sie ordnen die Erziehung aller Kinder den Interessen weniger unter, die Wissenschaft auf höherem Niveau studieren oder eine Labortätigkeit erlangen möchten. (Auch kann von Lehrern nicht gefordert werden, zukünftige technische Entwicklungen und industrielle Notwendigkeiten vorauszusagen, das zu verlangen, wäre absurd!).

Hodson äußert des Weiteren:

Es ist schwer einzusehen, welch einen Sinn die Fähigkeit, eine Pipette oder eine Bürette bei analytischen Mengenbestimmungen einsetzen zu können, für die Übertragbarkeit auf andere Labortätigkeiten - etwa ein Oszilloskop oder ein Mikroskop einzusetzen oder einen Hundshai zerlegen zu können - haben soll. Auch ist schwer einsehbar, wie diese Fertigkeit auf Nicht-Laborsituationen im täglichen Leben übertragen werden können. Aber gerade dies wird genau gefordert.

Überdies ist reichlich bewiesen, dass die in Klassen erworbenen praktischen Erfahrungen nicht das erwartete Erfolgsergebnis laut APU-Bericht erbringen. [APU: Assessment of Performance unit; Autor]. Selbst nach mehreren Jahren praktisch ausgerichteter wissenschaftlicher Unterrichtsstunden sind viele Kinder nicht in der Lage, einfache Labortätigkeiten zufriedenstellend zu bewältigen. So können beispielsweise unter Hinweis auf den APU-Report 15-Jährige nur zu 11% korrekt eine Ampéranzeige ablesen, nur 14% können einen Stromkreis nach vorgegebenem Schaltplan aufbauen.

Hodson folgert sodann, dass der Erwerb von Laborfertigkeiten geringen, wenn überhaupt, einen Wert hat; am ehesten die Erkenntnis am Ende, weiterhin zu lernen. Er ergänzt des Weiteren, nur jene Fertigkeiten zu lehren, die in Verfolgung anderer Ziele einen Wert haben, und diese zu einer Kompetenzzufriedenheit bringen. Werden Fähigkeiten gefordert, die ein Kind nicht wieder gebraucht oder einen Grad an Können fordern, den es nicht schnell erreichen kann, sollten alternative Versuche gefunden werden; etwa einfachere Apparate oder Demonstrationsversuche eingesetzt werden. Zu oft werden Kinder in Situationen gedrängt, in denen ihre nicht ausreichende Fähigkeit wie eine beträchtliche Barriere wirkt, sie also überfordert sind.

3. Unterstützt praktisches Arbeiten die Entwicklung zum Verstehen wissenschaftlicher Konzepte? Gibt es bessere Wege, diese Entwicklung zu unterstützen?

(“Does practical work assist children to develop an understanding of scientific concepts? Are there better ways of assisting this development?”)

Hodson stellt fest:

Der empirische Beweis, Naturwissenschaften effektiver durch praktische Tätigkeit zu erlernen, ist schwer zu führen und wenig überzeugend. Es kann im Vergleich nicht bewiesen werden, dass sie besser als andere Methoden ist. Gelegentlich scheint sie etwas weniger erfolgreich zu sein. Eine amerikanische Studie dreier Untersuchungsmethoden legt dar, dass nur im Hinblick auf die Entwicklung von Laborfertigkeiten Schülerversuche einige beachtliche Vorteile gegenüber anderen zeigten. Es gab keine bedeutsamen Unterschiede unter Beachtung von Zielsetzungen, etwa dem Verstehen wissenschaftlicher Methodik oder der Motivation. Mit anderen Worten: der einzige Lernvorteil, den praktisches Handeln zu haben scheint, ist, dass die anderen Lehrmethoden nicht überprüft worden sind.

Es ist interessant, dass Kinder den Erwerb von praktischen Fertigkeiten als den Hauptzweck von Schülerversuchen zu betrachten scheinen und ziemlich enttäuschend, dass sie häufig den Bezug von Labortätigkeit zu anderen Aspekten des Lernens nicht beurteilen können. Eine Untersuchung Moreiras offenbarte, dass Kinder in Britischen „secondary schools“ in der Ausführung von Versuchen oft nur „rudimentäre“ Vorstellungen über das haben, was sie tun. Den Zweck von Versuchen verstehen sie praktisch nicht. Auch nicht die Wahl einer Vorgehensweise oder das zu Grunde liegende Konzept. Es scheint, dass sie nur ein wenig mehr tun, als Rezepten zu folgen. Solche Aktivitäten sind bestenfalls unnütze Zeitverschwendung. Wahrscheinlich verwirren sie und sind kontraproduktiv.

4. Welches Bild, welche Vorstellung von Wissenschaft und wissenschaftlicher Tätigkeit erwerben Kinder durch praktisches Arbeiten? Ist das Bild eine wahrheitsgetreue Darstellung der wissenschaftlichen Praxis?

(“What view/image of science and scientific activity do children acquire from engaging in practical work? Is that image a faithful representation of actual scientific practice?”)

Im Folgenden beschreibt Hodson sodann naturwissenschaftliche Arbeitsweisen. Sehr verkürzt stellt er wie folgt fest:

Wissenschaft beginnt mit Beobachtungen. Wissenschaftliche Beobachtungen sind zuverlässig und unvoreingenommen. Beobachtungen schaffen objektive, wertfreie Daten. Trends (Vorstellungen) und Verallgemeinerungen gehen aus Mangel an älteren Theorien aus diesen hervor; vorzeitige Theoriebildung ist strikt in diesen Wissenschaftsmodellen untersagt. Erklärungen dieser Meinungsbildungen und Verallgemeinerungen in der Form von Grundsätzen, Gesetzen und Theorien können aus diesen Daten entnommen werden. Durch weitere Beobachtungen (geprüft?) können Grundsätze, Gesetze und Theorien bestätigt werden.

Dass Kinder bereits neue Vorstellungen während eines nicht geführten und offenen Unterrichtes erwerben können, diese Anregung ist, so Hodson, absurd. Der wahre Grund dieses Problems ist, dass Lehrer Schülern vorgeben, dass der Zweck solcher Unterrichtsstunden ist, in wissenschaftliches Erkunden einzuführen. In Wirklichkeit meinen die Lehrer Wiederentdeckung, obwohl sie von Entdeckung sprechen. Sie beabsichtigen, dass Schüler im Detail etwas entdecken. Jedoch ist es ohne Führung oder bei tiefer gehenden Betrachtungen unwahrscheinlich, dass die Schüler die vom Lehrer beabsichtigten Teilziele erreichen.

In der Praxis wird schnell klar, dass Schüler die erwünschten Ziele nicht erreichen. Aber anstatt zu einer Neubeurteilung zu ermutigen, dass Schüler ihr experimentelles Vorgehen abwandeln oder erneut überdenken, geben Lehrer Anweisungen. Konsequenterweise endet das, was als offene Erkenntnisgewinnung begann, als rezeptartige Folgerung. („recipe following“).

Eine weitere Komplikation ist, dass viele Experimente zu nicht voraussehbaren Ergebnissen führen, die Schüler dazu bringen, eine „alternative Wissenschaft“ zu entdecken. Die übliche Antwort ist dann, Schülern zu sagen, dass sie ein falsches Ergebnis erarbeitet haben. Dies beeinflusst die Einstellung „what ought to happen“ und die richtige Antwort. Auch dies lässt die Vorstellung entstehen, dass Wissenschaftler im Voraus Ergebnisse der von ihnen geleiteten Versuche kennen.

Hodson bemerkt des Weiteren:

Eine einfache Tatsache ist es, dass nicht theoretisch vorbereitete Beobachtungen zu keinem Erkenntniserwerb führen und dies auch nicht können. („The simple matter is that theoretically uninformed observations do not and cannot lead to the acquisition of new concepts“). Die Forderung nach theoriefreien Experimenten ist aus erkenntnistheoretischen und psychologischen Gründen unsinnig. Jegliche Art von Forschung und überhaupt etwas zu entdecken kann nur im Rahmen eines Konzeptes geschehen. Nicht praktische Erfahrung setzt diesen Rahmen. Vielmehr sind es Konzeptstrukturen, die Sinn, Zweck und Richtung für praktisches Handeln schaffen.

Kurz gefasst, theoretische Betrachtungen müssen experimentellen Untersuchungen voraus gehen. Die Theorie und theoretische Vermutungen im Anschluss an Beobachtungen zu stellen, eher als vorweg - wie beim entdeckenden Lernen - das heißt, den Wagen vor das Pferd zu spannen. Konsequenterweise kann auf solche Methoden als effektive Lernformen verzichtet werden, gerade so, wie man auf sie als realistisches Modell wissenschaftlichen Arbeitens verzichten kann.

Hodson ergänzt:

Es gibt weitere Komplikationen, die ebenso schwerwiegende pädagogische Unangemessenheiten schaffen. Entdeckendes Lernen kann nicht sicherstellen, dass Kinder ein angemessenes Lernkonzept haben. Es ignoriert vollkommen die Wahrscheinlichkeit, dass sie alternative Vorstellungen haben, die sie in etwas anderer Weise zur Interpretation von zu verstehenden Vorgängen führen als die von den alternativen beabsichtigten. Einige Forscher haben schlagende Beweise dafür aufgezeigt, in welcher Weise alternative theoretische Schülervorstellungen die Natur und den Sinn ihrer Versuche falsch darstellen. Entdeckende

Lernmethoden sollten wirklich nicht verfolgt werden. Wir gebrauchen eine vollkommene Veränderung in der Betrachtung unserer Natur und in der Gestaltungsweise von Schülerversuchen, um die entscheidende Rolle der Theorie beim Experimentieren im Curriculum zu rechtfertigen.

5. Sind die so genannten wissenschaftlichen Einstellungen notwendig für erfolgreiche praktische wissenschaftliche Übungen? Sind sie geeignet, durch die Arten der praktischen Arbeit, mit der die Kinder beschäftigt werden, gefördert zu werden?

(„Are the so-called „scientific attitudes“ necessary for a successful practice of science? Are they likely to be fostered by the kinds of practical work children engage in?”)

Zweifelsohne nimmt nach Hodson die Einschärfung wissenschaftlicher Verhaltensweisen in den Curricula eine hohe Priorität ein. Allgemein wird angenommen, dass Kinder Arbeiten von Wissenschaftlern besser einschätzen, indem sie eine Haltung übernehmen, die wert- und vorurteilsfrei, besonnen und willens ist, Entscheidungen aufzuschieben. Solche Qualitäten sind an sich wünschenswert und auch übertragbar auf andere Bereiche. Drei Fragen stellen sich sofort:

- Ist die Art praktischer Arbeit, die wir pflegen, die richtige, diese Einstellungen zu fördern?
- Ermutigt dieses Bild Kinder, sich für die Wissenschaft zu begeistern?
- Kennzeichnen diese Charakteristika wirkliche Wissenschaftler? (Hodson, 1990, Seite 38).

Hodson antwortet:

Korrekte Antworten zu finden und der Bezug zu dem, was wirklich geschehen sollte, lassen so manche praktische Arbeit in Schulen, streng genommen, gegen die Wahrscheinlichkeit einer bejahenden Antwort sprechen. Die Entfernung vom wirklichen Leben und die offenbare Unterdrückung von Individualität bei stereotyper Idealisierung wissenschaftlicher Einstellungen wirken wahrscheinlich ungünstig auf Kinder. Eine positive Antwort auf die zweite Frage ist daher unwahrscheinlich. Kinder müssen sehen, dass Wissenschaftler warmherzig, sensibel, humorvoll und leidenschaftlich oder wichtiger - dass warmherzige, sensible und leidenschaftliche Menschen Wissenschaftler werden können. Auch die dritte Frage wird wahrscheinlich mit „nein“ beantwortet.

Hodson stellt weiterhin fest, dass die „Bilder“ von Wissenschaftlern recht unterschiedlich sind. Er schließt mit der bedeutungsvollen und bemerkenswerten Feststellung:

„There are now increasing numbers of ethnographic studies of scientists - in-action that promise to give a much more faithful picture of laboratory life and of the decision - making processes involved in scientific inquiry. What is urgently needed is a way of translating these accounts into suitable activities for the classroom.” (Hodson; 1990, Seite 39).

4. Schülerexperimente in der Darstellung von M. Hopf

In der umfangreichen Dissertation „Problemorientierte Schülerexperimente“ stellt M. Hopf u. a. bisherige, wissenschaftlich begründete Forschungsergebnisse über angestrebte Lernziele durch die Ausführung von

Schülerversuchen dar. Unbestritten ist nach seinen Ausführungen zweifellos, dass ihre Durchführung ein wichtiges Element erfolgreichen Lernens und Lehrens im Physikunterricht sein kann. Allein ihre Gestaltung wird unterschiedlich bewertet. Aus der Menge von Zielsetzungen und Erwartungen verschiedener naturwissenschafts-didaktischer Forscher, insbesondere auch aus dem englischen Sprachraum, sei hier beispielhaft ein Teil-Lernziel der amerikanischen Lehrervereinigung AAPT 1998 angeführt:

„Neben Erfahrungen mit experimentellen Untersuchungen und dem Erlernen experimenteller Fertigkeiten wird die Vertiefung begrifflichen Wissens, ein Verständnis der Wissensgenerierung in Physik und die Entwicklung von kollaborativen Fähigkeiten genannt.“ (Hopf, 2007, Seite 7).

Ohne Zweifel bringt diese Feststellung ein wesentliches und allgemeines Anliegen des Physikunterrichtes zum Ausdruck, in dem Schülerinnen und Schüler durch selbst ausgeführte Versuche Wissen erwerben sollen.

Schülerversuche erfüllen jedoch nicht immer die Erwartungen der Unterrichtenden. Auf Probleme in der Unterrichtspraxis, wie sie vielfach in der Fachliteratur angeführt werden, weist auch Hopf in seiner Forschungsarbeit hin und stellt fest:

- Schüler experimentieren ohne nachzudenken,
- Schüler und Lehrer haben unterschiedliche Zielvorstellungen,
- Schülerinnen und Schüler haben mangelnde Vorkenntnisse,
- Schülerinnen und Schüler verbinden Theorie und Praxis nicht miteinander,
- Experimentelle Kenntnisse werden kaum vermittelt,
- Schülerinnen und Schüler folgen kochbuchartig Anweisungen.

Eine weitere bedeutungsvolle Feststellung in der Hopfschen Dissertation veranlasst zum Nachdenken und zur Kritik:

Zur Erhöhung der Lerneffektivität von Schülerversuchen nennt der Autor unter Berufung auf mehrere Forscher, vornehmlich aus dem englisch-amerikanischen Sprachraum, eine größere Offenheit und Authentizität bei der Durchführung von Schülerversuchen.

Zu dieser Feststellung ist zu bemerken:

Im Allgemeinen gilt, dass ältere Schülerinnen und Schüler über ein größeres Vorwissen und oft auch über ein größeres manuelles und geübteres Geschick beim Experimentieren als jüngere verfügen. Die Vorbereitung, Durchführung von Versuchen und deren Auswertung im Rahmen konstruktiven und erkundenden Lernens werden daher bei ihnen altersbedingt weniger Probleme bereiten und auch weniger Hilfen durch Unterrichtende erfordern als bei Lernenden unterer Klassen. Letztere müssen erfahrungsgemäß zunächst häufiger, auch durch einfachere Versuchsaufbauten, angeleitet werden, um dann zu größerer manueller Geschicklichkeit zu gelangen. Auch kann natürlich erwartet werden, dass die Tiefe der

Auseinandersetzung bei erfahreneren Jugendlichen größer sein wird und ihnen daher ein größerer Freiraum geboten werden kann.

Ob diese offenere Arbeitsweise nach Auffassung des Autors der vorliegenden Arbeit problemlos in Klassen eingesetzt werden kann, in denen Grundkenntnisse und elementare Fertigkeiten noch erst erworben werden müssen, ist stark zu bezweifeln und bleibt zu überprüfen. Die Antwort, basierend auf eigenen Erfahrungen im Mittelstufenunterricht, wird kaum bejahend ausfallen. Vielmehr bedarf es in diesen Klassen zunächst einer führenden und helfenden Hand des Lehrers. Erst nach dem Erreichen eines dem zu erarbeitenden Sachverhaltes angemessenen Wissens- und experimentellen Könnensstandes sollten dann zunehmend Freiräume den Lernenden geboten werden. Es muss immer bedacht werden, dass nicht geführtes und zielloses Experimentieren und ein unsachgemäßer, zu Schäden führender Umgang mit teuren Geräten, besonders mit empfindlichen Messinstrumenten, schnell zu Enttäuschungen der Lernenden führen kann und die bisweilen geäußerte Schülermeinung stärkt: „Physik ist das, was nicht funktioniert.“ Misserfolge beeinträchtigen jedoch das Selbstvertrauen der jungen Menschen und trüben dann die Freude am Physikunterricht ganz erheblich.

Hopf führt des Weiteren Aussagen von Forschern an, die neue, anspruchsvollere Unterrichtsinhalte und damit verbundene höhere technische Fertigkeiten, nach Schwierigkeitsstufen strukturiert, vorschlagen. Zur selbständigen Bewältigung höherer Anforderungen sollten aber Schülerinnen und Schüler nach Lewis extra vorbereitet werden. (Hopf, 2011, Seite 31).

Laut Hopf wird zur Erhöhung der Lernwirksamkeit von Schülerversuchen eine größere Authentizität in Problemstellungen genannt. Es scheint jedoch auch bisweilen schwierig zu sein, einen echten Zusammenhang zwischen der Versuchszielsetzung, seiner Ausführung, Auswertung und der Realität durchgehend herzustellen. Hervorzuheben ist auch, dass bei der Formulierung von authentischen Aufgaben schnell Verstehensgrenzen der Schüler und Schülerinnen erreicht werden, die erst später überwunden werden können.

Nicht unerwähnt bleiben darf die Feststellung in den Ausführungen Hopfs, dass zur Leistungsmessung von Schülern im Physikunterricht vielfach unterschiedliche Fähigkeiten bewertet werden. Einerseits werden Wissensfragen, andererseits Funktionsfragen gestellt und dann beurteilt. Dieser Umstand ist sowohl für die Beurteilung der Unterrichtsqualität als auch für die Notenfestsetzung in den Schülerzeugnissen nicht unerheblich.

In der zusammenfassenden Auswertung seiner Untersuchungen zur Erforschung gegenwärtiger Ausführungen von Schulversuchen gelangt Hopf zu der Feststellung, dass ihre besondere Wirksamkeit wegen unterschiedlicher Ansätze und Ausführungen bisher nicht nachgewiesen werden konnte. Er bringt zum Ausdruck:

"Vielmehr besteht guter Grund zu der Annahme, dass sich bei genauer Festlegung von Zielvorstellungen und der entsprechend passenden Auswahl geeigneter methodischer Elemente die gewählten Ziele durchaus erreichen lassen. Gewisse Aspekte werden dabei immer wieder genannt, um die Wirksamkeit von

Schülerexperimenten zu verbessern. Dazu zählen neben der Aktivierung höherwertiger kognitiver Prozesse der Schülerinnen und Schüler die Erhöhung der Offenheit und die Einbettung von Schülerexperimenten in authentische Situationen." (Hopf, 2007, Seite 36).

In der Erwartung, auf der Grundlage von konstruktivistisch durchgeführtem Unterricht und selbst gesteuertem Lernen höhere Lernzuwächse zu erzielen, wurden für eine umfangreiche Untersuchung in zehnten bayrischen Gymnasialklassen jeweils sechs Versuchsvorhaben aus der Elektrizitätslehre und aus der Optik entwickelt, erprobt und hernach bewertet. Wesentliche Erkenntnisse dieses Forschungsprojektes über den Erfolg von Schülerversuchen, die auch für die vorliegende Untersuchung eine erhebliche Bedeutung haben, fasst Hopf wie folgt zusammen:

- Problemorientierte Schülerexperimente stellen eine Bereicherung des Schulalltags dar und werden von Lernenden und Lehrenden positiv beurteilt (Hopf, 2007, Folgerung 1, Seite 226),
- Der Einsatz problemorientierter Schülerexperimente führt nicht automatisch zu einem verbesserten begrifflichen Verständnis physikalischer Inhalte (Hopf, 2007, Folgerung 3, Seite 228),
- Die konkreten Inhalte der problemorientierten Schülerexperimente werden von Schülern besser gelernt als von Schülerinnen (Hopf, 2007, Folgerung 5, Seite 229),
- Hohes Vorwissen erleichtert die erfolgreiche Bearbeitung problemorientierter Schülerexperimente (Hopf, 2007, Folgerung 6, Seite 229),
- Der Einsatz von problemorientierten Schülerexperimenten führt nicht automatisch zum Einsatz wünschenswerter Lernstrategien wie Elaborationen oder kritisches Überprüfen (Hopf, 2007, Folgerung 10, Seite 231).

In einer wenig ermutigenden Schlussfolgerung stellt Hopf schließlich fest:

„Selbst das Einbeziehen verschiedenster Forderungen an erfolgreiche Schülerexperimente wie Offenheit, Authentizität usw. führt immer noch nicht zu verbessertem Lernen oder positiveren Einstellungen der Schülerinnen und Schüler. Die alte didaktische Forderung nach dem vermehrten Einsatz von Schülerexperimenten ist nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen als Mythos zu bezeichnen.“ (Hopf, 2007, Seite 232).

5. Die Gestaltung eines effektiven Physikunterrichtes in Abhängigkeit von mehreren Faktoren

In der Zusammenfassung der genannten Bewertungen von Schülerversuchen gibt es gegenwärtig in der Forschung keine vollkommen einheitliche Auffassung. Einigkeit herrscht sicherlich in der Einschätzung darüber, dass Lernende in der unmittelbaren ersten Begegnung mit Gegenständen, ihren Funktionen und mit ihnen im Zusammenhang stehende Sachverhalte eine größere Nähe zur physikalisch-technischen Welt erleben. Unterschiedliche Auffassungen gibt es unter naturwissenschaftsdidaktischen Forschern über ihre Ausführungen und damit verbundene Lernerfolge.

Die Vermittlung physikalisch-technischer Sachverhalte im Unterricht ist ein sehr komplexer Vorgang und kann sich daher mit unterschiedlichem Erfolg in mehreren Formen vollziehen. Im Allgemeinen wird die

unterrichtliche Vorgehensweise durch die Lehrinhalte, die gewohnten Arbeitsformen einer Klasse, das Lehrer-Schüler-Verhältnis und nicht zuletzt durch das vorhandene Arbeitsmaterial bestimmt. Die Aufgabe des Unterrichtenden ist es dann, alle Lernfaktoren so aufeinander abzustimmen, dass ein optimaler und realer Wissens- und Könnenserwerb möglichst vieler Schülerinnen und Schüler und deren uneingeschränkte Zustimmung zu dieser Arbeitsweise erreicht werden kann. Gerade erst in der Verbindung von helfenden Erklärungen durch den Unterrichtenden und dem sinnvollen, manuellen Handeln der Schüler im Schülerversuch erwächst eine fruchtbare, weiterführende und anfängliche Ängste überwindende Arbeitsatmosphäre, die auch Lernende in der Regel begrüßen.

Antriebskraft zum Erkunden physikalischer Abläufe und Gesetzmäßigkeiten sollte auch bei Lernenden der menschliche Erkenntnisdrang sein, den O. Höfling folgendermaßen formuliert: „Der Mensch ist aber nicht damit zufrieden, die Fülle der ihm durch die Sinne vermittelten Naturerscheinungen zu beobachten, sich an ihnen zu erfreuen oder sich erschrocken von ihnen abzuwenden, sondern er strebt mit seinem Wissensdrang nach einer Erkenntnis der gegenseitigen Abhängigkeit und Bedingtheit der Naturvorgänge. Er fragt nach dem Wie und dem Warum.“ (Höfling, Band 2, Teil 1, 1973, Vorwort)

6. Die Erkundung auch technischer Sachverhalte im Physikunterricht fördern

Natürlich besteht in der neueren fachwissenschaftlichen Literatur auch kein Zweifel mehr darüber, dass die aus dem Handwerk und der physikalischen Forschung ursprünglich hervorgegangene Technik angesichts ihrer vielfältigen Anwendungen und ihrer Bildungswerte einen gebührenden Platz im Unterricht finden sollte. Physik und Technik bilden eine sich gegenseitig ergänzende Einheit.

Karl Knoll stellt fest: „Eine wesentliche Aufgabe hat bei der technischen Bildung der Physikunterricht zu übernehmen. Im Zusammenhang mit den übrigen Fächern muss er eine technische Elementarbildung anstreben. Neben die physikalischen Methoden des Forschens und Entdeckens auf induktiv-deduktivem Wege muss das konstruktive technische Nacherfinden und Erfinden treten. Es handelt sich dabei um einen Unterricht, der nach Wagenschein sowohl aus der Technik die Natur als auch aus der Natur die Technik <ausgräbt>.“ (Knoll, 1971, Seite 28).

Welche Bedeutung einer technischen Bildung gerade in heutiger Zeit beispielsweise einem mittleren Bildungsabschluss beigemessen wird, spiegelt sich ganz besonders im Bildungsplan für Realschulen Baden-Württembergs. Dort heißt es:

„Geht man von der Situation des technischen Laien aus, der sich heute in seinem Alltag einer immer weiter vordringenden, undurchschaubarer und unverständlicher werdenden Technik gegenüber sieht, dann gewinnt als allgemeines Bildungsziel an Bedeutung:

- Den jungen Menschen Orientierung in einer komplexer werdenden technischen Welt zu ermöglichen;
- ihnen Gelegenheiten zu geben, ihre eigenen persönlichen Möglichkeiten und Chancen zu finden und

- an dieser durch Technik maßgeblich geprägten Gesellschaft verantwortungsvoll teilhaben und mitwirken zu können.

Gefordert ist also eine technische Grundbildung, die nicht auf (berufliches) Spezialwissen und Spezialkönnen abhebt, sondern die den Schülerinnen und Schülern fundamentale Einsichten und Handlungsmuster durch eine intensive Auseinandersetzung mit exemplarischen technischen Inhalten vermittelt.“ (Kultusministerium_BP_RS1-116 Baden-Württemberg, Leitgedanken zum Kompetenzerwerb für Technik-Realschule-Klassen 8,10, Seite 144).

Es bedarf kaum eines ergänzenden Hinweises, dass gerade der Physikunterricht sich dieser umschriebenen Aufgabe stellen sollte. In ihm gilt es insbesondere, Fragen aus der Umwelt zu stellen und nach Möglichkeiten einer ersten verständlichen Beantwortung zu suchen. Das kann meist nur mit Hilfe des Einsatzes technischer Geräte geschehen, deren Handhabung natürlich in der Regel geübt werden muss. Es sollte auch nicht unangesprochen bleiben, dass gerade aus der Welt der Technik ihrerseits weit reichende neue Fragestellungen erwachsen. So vermittelt beispielsweise das Experimentieren mit einem Geiger-Müller-Zähler ein erstes Verstehen radioaktiver Vorgänge und schafft ergänzend Verständnis für funktionelle Abläufe ihrer Messung. Es fördert zudem das Bedürfnis vieler Lernender, genauere und weitere Einblicke in die Materie und in radioaktive Prozesse zu erkunden.

Als eine weitere wichtige Aufgabe des Unterrichtes hebt O. Höfling hervor: „Ein moderner Physikunterricht kann sich nicht auf die Vermittlung physikalischer Fakten und Gesetze beschränken, sondern er muss darüber hinaus besonderen Wert darauf legen, die Schüler mit den Wegen physikalischer Erkenntnisgewinnung vertraut zu machen.“ (Höfling, Band 2. Teil 1, 1973, Vorwort).

Es lässt sich somit kaum bestreiten, dass der Schülerversuch im Sinne einer fruchtbaren Bildungsarbeit eine unverzichtbare und auch zentrale Rolle im Physikunterricht einnehmen sollte. Nur er ist letztlich in der Lage, eine direkte Begegnung der Lernenden mit der realen, uns umgebenden physikalischen und technischen Welt unmittelbar herzustellen und damit neben einer tiefer verankerten Persönlichkeitsbildung auch ein echteres Bild unserer Umwelt zu schaffen.

1.8. Zusammenfassung der bisher dargestellten Forschungsergebnisse zur Gestaltung des Physikunterrichtes

In der Erziehungswissenschaft gibt es gegenwärtig keine einheitliche und geschlossene Auffassung zur Erreichung von optimalen Bildungszielen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Dieser Umstand liegt in der gesellschaftlich bedingten Komplexität von Bildungsaufgaben, den Bildungsvoraussetzungen, unterschiedlichen Bildungszielen und Bildungserwartungen und schließlich Bildungsabläufen begründet. So verwundert es auch letztlich nicht, dass selbst im Physikunterricht unterschiedliche, geschichtlich gewachsene Formen der Wissens- und Könnensvermittlung, auch lernpsychologisch begründet, bis in die Gestaltung von Schülerversuchen die Unterrichtsformen beeinflussen.

Die eingangs in dieser Arbeit angeführten Forschungsergebnisse über Schülerversuche unterscheiden sich teilweise erheblich voneinander. Während Grimsehl die Anlehnung des Physikunterrichtes an die Physik als Wissenschaft empfahl, plädierte Wagenschein in seinen Ausführungen für ein kindgemäßes, genetisches Vorgehen. Forschendes Lernen wird gegenwärtig allgemein befürwortet. Kirschner stellt allerdings verkürztes Informieren im naturwissenschaftlichen Unterricht stark in Frage.

H.-J. Wilke erreichte durch den Einsatz von Schülerversuchen überzeugende und nachgewiesene Lernerfolge. Auch McDermott fordert experimentelles Vorgehen zum besseren Verstehen von physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Hodson schränkte hingegen allzu hohe Lernerfolgserwartungen von wissenschaftlich ausgerichteten Schülerversuchen ein und verwies vielfach auf andere, bessere Lehrverfahren, ohne allerdings in der angeführten Schrift solche zu nennen.

Hopf gelangt abschließend in seiner Untersuchung ebenfalls zu Einschränkungen in der Erwartung höherer Lern- und Motivationserfolge durch Schülerversuche.

Die Kenntnis der Existenz unterschiedlicher Lerntheorien in der Gegenwart über Herangehensweisen an das Erarbeiten und Verstehen von physikalisch-technischen Sachverhalten mit Jugendlichen erleichtert sicherlich nicht die Planung der geeignetsten methodisch-didaktischen Unterrichtsweise.

Aus diesem Umstand folgte insgesamt für den Autor der vorliegenden Untersuchung die Einsicht, dass es im Interesse eines fruchtbaren Unterrichtes vermutlich in jeder einzelnen Unterrichtssituation einer detaillierten Entscheidung des verantwortlichen Lehrers bedarf, in der der Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe, die Leistungsfähigkeit einer Klasse, deren Arbeitsbereitschaft, die vorhandene Ausstattung der Sammlung und die zur Verfügung stehende Arbeitszeit beachtet werden sollten. Die Gestaltung eines naturwissenschaftlich orientierten Unterrichtes bleibt immer ein komplexer Vorgang, dessen Erfolg von unterschiedlichen einzelnen Faktoren abhängt.

Angesichts der hier angeführten Vorinformationen und eigener Unterrichtserfahrungen lag es für den Autor der vorliegenden Arbeit nahe, eigene unterrichtliche Vorgehensweisen zu entwickeln und diese zu erproben. Es galt im Rahmen eines Forschungsprojektes insbesondere zu prüfen und Teilergebnisse im Wissenserwerb dahin gehend auszuwerten, ob gewünschte Erwartungen und erstrebte Ziele in den Lernerfolgen erfüllt wurden. Das unter dem Titel vorbereitete Unterrichtsvorhaben:

„Das Erlernen und Verstehen elementarer Funktionen in der Elektrizitäts- und Halbleiterlehre mittels vorbereiteter Arbeitsplatinen in Schülerhand erleichtern und fördern“,

sollte beispielhaft Antworten auf gestellte Fragen ergeben, die unter Beachtung neuer geschaffener Lernbedingungen allgemeinen methodisch-didaktischen Aussagecharakter haben könnten.

In der Heidestadt Soltau in der Lüneburger Heide bot sich für dieses Vorhaben an der A.-Wöhler-Realschule die Möglichkeit, eigene Daten als Forschungsergebnisse zu sammeln, darzustellen, zu analysieren, zu interpretieren und erste methodisch-didaktische Schlüsse daraus zu ziehen.

Doch zunächst galt es für den Unterrichtenden, sich der besonderen Eigenschaften der Elektrizität und ihrer Vermittlung im Unterricht bewusst zu werden. Dass Experimente, ausgeführt durch Schülerhand, ihrer Anschaulichkeit wegen eine wichtige, hilfreiche und anspornende Rolle dabei übernehmen sollten, stand außerhalb jeder Fragestellung. In welchem Maße vorbereitete Arbeitsmittel in den Händen der Lernenden Lernvorgänge beeinflussen, das war darüber hinaus insbesondere zu untersuchen. Ob und welche methodisch-didaktischen Erfahrungen die Wissenschaft und die Lernpsychologie insbesondere zur Überwindung von eventuellen unterrichtlichen Schwierigkeiten bereit stellen können, war zudem zu ermitteln. Im Folgenden wird der Versuch unternommen, diesbezügliche Fragen zu beantworten.

2. Forschungsbeiträge zum Unterrichtsthema „Einführung in die allgemeine Elektrizitätslehre“

2.1. Die Elektrizität, eine vielfach einsetzbare Energieform

In der Rangfolge unterschiedlicher Energieformen nimmt die elektrische Energie im Hinblick auf vielseitige Eigenschaften und technische Einsatzmöglichkeiten zweifellos eine herausragende Stellung ein. Ihre Bedeutung in der technischen Welt im Physikunterricht genauer zu erkunden und jungen Menschen verstehbar zu machen, stellt daher schon eine lohnende Aufgabe mit hoher bildender Wirkung dar. Kenntnisse über die folgend genannten Eigenschaften sollten den Schülerinnen und Schülern insbesondere vermittelt werden.

Mit Turbinen gekoppelte Generatoren verwandeln, am besten für Lernende in direkter Begegnung durchschau- und auch verstehbar, in Kraftwerken an geeigneten Orten durch Verbrennung oder auch durch atomare Prozesse geschaffene Wärmeenergie in elektrische. Standorte für Kraftwerke liegen oft an Flüssen, um Transportkosten, etwa für fossile Brennstoffe wie Kohle, niedrig zu halten und auch, um mit Kühlwasser aus dem Fluss den Effektivitätsgrad des Dampfes in den Turbinen laut Carnotscher Regel zu erhöhen.

Batterien und Akkumulatoren als elektrische Spannungsquellen sind den Jugendlichen in der Regel aus dem Umgang mit Taschenlampen, Wetterstationen, Weckern und mit Spielgeräten bekannt. Für den Aufbau erster Erfahrungen in der Elektrizitätslehre, etwa des Aufbaues eines Stromkreises, können sie bereits in der Grundschule ihrer niedrigen Spannung und daraus folgend, ihrer Gefahrlosigkeit wegen, eingesetzt werden. Das Verstehen der Verwandlung chemischer Energie in elektrische und der Umkehrprozess sollten den Lernenden aber erst auf der Grundlage gesicherterer chemischer Kenntnisse nahegebracht werden.

In direkter Umwandlung von Strahlungsenergie der Sonne erzeugen Solarzellen elektrischen Strom. Diesen Prozess können Schülerinnen und Schüler unmittelbar experimentell im Unterricht nachvollziehen, sofern die physikalischen Ausstattungen diesbezügliche Schülerversuche ermöglichen. Betont werden sollte im Unterricht, dass das Ziel der gegenwärtigen Forschung auch ist, den Effektivitätsgrad η in der Umsetzung durch Verwendung immer geeigneterer Materialien zu erhöhen. Das Verstehen der dabei ablaufenden Umsetzungsprozesse setzt allerdings fundiertere Kenntnisse in der Halbleitertechnik voraus und sollte daher erst in „oberen“ Klassen detaillierter bearbeitet werden.

Natürlich ist es gerade in heutiger Zeit fast unerlässlich, im Unterricht 9./10. Klassen die Bedeutung auch der Wind- und die der Wasserkraftwerke anzusprechen, wenn die Erzeugung elektrischer Energie im Zusammenwirken von Bewegungen und magnetischen Feldern in Generatoren erarbeitet wird.

Zur Erzeugung elektrischer Energie gehört zwangsläufig ihre überaus vielfache Umsetzung in Bewegungsenergie durch Elektromotoren, in denen elektrische Energie beim Vorhandensein eines magnetischen Feldes in mechanische Bewegungsenergie umgewandelt wird.

Elektrische Energie lässt sich des Weiteren bei erhöhter Spannung und gesenkter Stromstärke im Vergleich zu anderen Energieformen über größere Strecken weiterleiten, allerdings unter Hinnahme von überschaubaren, verkraftbaren Verlusten und dem Vorhandensein geeigneter Überlandleitungen. Überdies kann sie mittels entsprechender Transformatoren dann wieder heruntertransformiert und vorteilhaft in chemische, magnetische, elektrische, Wärme- und Strahlungsenergie verwandelt werden. Darüber hinaus sind genutzte elektrische Energiebeträge und Leistungsangaben von Elektrogeräten in hoher Genauigkeit mess- und bestimmbar.

Die chemische Speicherung größerer Beträge elektrischer Energie, die ein sich „bewegender Elektronenstrom“ über längere Zeiträume erzeugen kann, stellt im Gegensatz zur Bereitstellung kleinerer Beträge in Akkumulatoren die Forschung allerdings gegenwärtig noch vor besondere Aufgaben. Etwa ein Auto für längere Fahrstrecken herzustellen, das durch einen Elektromotor höherer Leistung angetrieben wird, der nur durch einen an Bord befindlichen größeren Energieinhalt in einem nicht zu schweren Akkumulator gespeist wird, harrt gegenwärtig noch seiner zufriedenstellenden Vollendung.

Die mechanische Speicherung potentieller Energie in Form von Wasser, das aus Flüssen in Speicherseen höherer Lagen durch elektrischen Antrieb gepumpt wird, und bei Bedarf wieder durch Wasserabfluss und durch Turbinenantrieb von Generatoren als kinetische Energie zurückgewonnen werden kann, ist geographisch nur bei geeigneten Höhenunterschieden an Gewässern umsetzbar, wie etwa im schleswig-holsteinischen Geesthacht an der Elbe.

Im Physikunterricht diese kurz skizzierten Sachverhalte möglichst vielen Jugendlichen überzeugend verständlich zu machen, ihr Interesse für diese Problematik überhaupt zu wecken und ihr technisches Denken diesbezüglich anzuregen und weiter zu entwickeln, das ist sicherlich ein sinnvolles, lohnendes und auch notwendiges Unterfangen in heutiger Zeit. Sie erfolgreich zu bewältigen, dazu bedarf es verständlicherweise aus methodisch-didaktischer Sicht immer wieder neuer lernpsychologischer Erfahrungen und Anregungen.

2.2. Physikalisch nicht haltbare Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre im Unterricht überwinden

Im Folgenden werden einige neuere Forschungsarbeiten zur Gestaltung des Physikunterrichtes in der Elektrizitätslehre mit der Absicht dargestellt, auf unterrichtliche Besonderheiten und die Bewältigung möglicher Schwierigkeiten hinzuweisen.

- H. Wiesner beschreibt Beobachtungen im Sachunterricht einer vierten Klasse, die 1994 bei der Erarbeitung erster Erfahrungen mit der Elektrizität gemacht wurden. (Wiesner, 1994, S. 3).

Schülerinnen und Schüler hegen zunächst insgesamt die Vorstellung, dass Elektrizität etwas Substanzielles sei. Eine leuchtende Lampe verbrauche diese Substanz. Zwei Verbindungskabel

könnten sogar mehr Materie befördern als eine Verbindung. Nach Auffassung der Kinder müsse dies im stärkeren Leuchten zum Ausdruck kommen. Ein Versuch im Unterricht widerlegt diese Auffassung. Der dann nach der Ausführung von weiteren Schülerversuchen gefundene und gemeinsam formulierte Merksatz lautet schließlich: „Ein Lämpchen leuchtet, wenn der eine Batterieanschluss mit dem einen Lämpchenanschluss und der zweite Lämpchenanschluss mit dem zweiten Batterieanschluss verbunden wird.“ Gestützt wird nach Wiesner diese neu erworbene Schülererkenntnis im anschließenden Verlauf des Unterrichtes durch den Vergleich von Messergebnissen, die bei weiteren experimentell durchgeführten magnetischen Ablenkungen von Magnetnadeln, gemessen vor und nach einem Glühlämpchen als „Verbraucher“, gewonnen wurden.

- In ihrem Artikel „Physikunterricht - an Schülervorstellungen orientiert“ heben auch Koller, Waltner und Wiesner (2008) hervor, dass Schülerinnen und Schüler vielfach physikalisch nicht haltbare Vorstellungen hegen. So meinen ebenso einige befragte Jugendliche, Strom werde verbraucht. Ein Kabel zwischen einer Spannungsquelle und einer Lampe oder einem Motor reiche daher aus, ein zweites Kabel sei überflüssig. Auch liefere eine Batterie oder ein Netzgerät permanent Strom gleicher Stärke. Bei Parallelschaltung von weiteren Nutzern müssten im Vorversuch betriebene wegen Teilung daher in ihrer Wirkung schwächer werden. Nicht erfasst wird bisweilen auch der Umstand, dass der Ort eines Widerstandes, etwa vor oder hinter einer Lampe in einem Schaltkreis, bedeutungslos ist. Vielmehr ist natürlich der Gesamtwiderstand zu beachten und für Schlussfolgerungen zu berücksichtigen. Schließlich gelingt manchen Jugendlichen nicht die begriffliche Trennung von Spannung und Stromstärke.
- Dass manche Schüler und Schülerinnen eigenständige und physikalisch nicht haltbare Vorstellungen über den elektrischen Strom auch bisweilen noch nach dem Unterricht hegen, stellen Hopf, Schecker und Wiesner in ihrer „Physikdidaktik kompakt“ fest. Über die bereits genannten Vorstellungen hinaus unterscheiden nach ihren Aussagen viele Schüler nicht zwischen „strömenden“ und „ruhenden“ Ladungen. Auch die Vorstellung halte sich vielfach „hartnäckig“, in einem Stromkreis sei der zum Nutzer hinfließende Strom stärker als der abfließende. Ein Anteil des Stromes werde ja verbraucht. (Hopf, Schecker, Wiesner, 2011, S. 42).
- In dem Beitrag „Alltagsvorstellungen berücksichtigen - Vorstellungen zum elektrischen Stromkreis“ von Duit werden die bereits angeführten Vorstellungen und Schlussfolgerungen der Schüler bestätigt. Sie sollen hier daher nicht wiederholt werden. Gleichzeitig wird aber auch vorgeschlagen, den Begriff „Stromfluss“ im Unterricht durch den des „Energieflusses“ zu ersetzen. Diese Schüleraussage kommt der realen Situation schon näher, wenn sie den physikalischen Energiebegriff auch noch nicht vollends trifft. Duit stellt fest:

„Ich denke, es ist sehr viel günstiger, den Schülern zu erklären, dass sie sich schon etwas Richtiges

denken. Es fließt in der Tat etwas von der elektrischen Quelle zum elektrischen Gerät, das das Gerät in Betrieb setzt und hält. Wir nennen dieses etwas aber in der Physik Energie und nicht Strom.“ (Duit, 2007, S. 3/4).

- In der Darstellung des „Rhönecktestes“ werden in der vorliegenden Arbeit nachfolgend beispielhaft detailliertere Aufgaben angeführt, deren Lösungen nur gelingen konnten, wenn Alltagsvorstellungen von den Jugendlichen bereits überwunden und durch physikalisch gesicherte ersetzt wurden. Von erheblicher Bedeutung im Verständnis elektrischer Prozesse ist auch die Erkenntnis, dass der Elektronenstrom nur Träger elektrischer Energie ist und nicht selbst bei Umsetzungen in Geräten verbraucht wird. Es gilt daher im Folgenden ganz besonders, den Energiebegriff Schülerinnen und Schülern verständlich zu machen. Darüber hinaus erleichtert die Kenntnis und das Anwenden der Kirchhoff-Gesetze und des Ohmschen Gesetzes natürlich das Lösen von Aufgaben in der Elektrizitätslehre erheblich.

2.3. Den Energiebegriff älteren Schülerinnen und Schülern in einem ersten Schritt verstehbar machen

Allgemeine Energiebegriffe lassen sich nicht mit nur einer Basisgröße erfassen und beschreiben. Es ist vielmehr erforderlich, beschreibende Gleichungen zu ihrer Erfassung abzuleiten. Eine Schwierigkeit, den Energiebegriff zu verstehen, scheint in dem Umstand zu liegen, dass Gleichungen weniger anschaulich sind. Natürlich wären Lernende der Grundschule vollkommen überfordert, eine Energiegleichung zu erfassen und gar zu verstehen. Hier müssen einfache experimentelle Lösungsversuche zum ersten Verständnis greifen. Das aber gilt nicht unbedingt für Jugendliche 9./10. Klassen, wie unterrichtliche Erfahrungen auch im Soltauer Projekt zeigten. Im Folgenden wird beispielhaft und anschaulich in Kurzform die Ableitung von Gleichungen zur potenziellen und hernach zur kinetischen Energie dargestellt. Sie sollte erfahrungsgemäß nur dann angewendet werden, wenn eine experimentelle Erarbeitung in der Klasse vorab noch nicht erfolgte, eine Vorstellung des Energiebegriffes in der gegenwärtigen Unterrichtsphase aber vonnöten ist.

Skizze zur Ableitung mechanischer Energiebegriffe in einem Gedankenexperiment.

In der folgenden Skizze (siehe Abbildung 2) wird die Schaffung potenzieller Energie und deren anschließende Verwandlung in kinetische bildhaft dargestellt. Sie ist geeignet, Erinnerungen an erlebte experimentelle Erkenntnisse der Lernenden kurzfristig aufzufrischen.

Eine Kugel, als Kreis dargestellt, wird zunächst angehoben, um sie dann wieder fallen zu lassen. Dabei muss zunächst potentielle Energie geschaffen werden, die dann in veränderter Form, als kinetische Energie, wieder frei wird und abschließend die Kugel zerplatzen lässt.

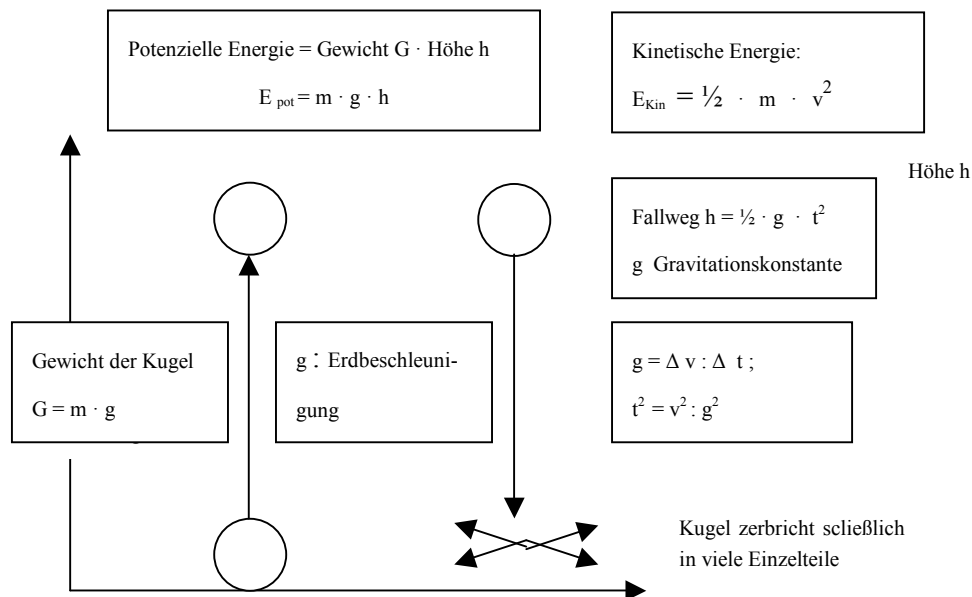


Abbildung 2: Der Energiebegriff

Betrag der potenziellen Energie = Betrag der kinetischen Energie

$$\begin{aligned}
 E_{\text{pot}} &= m \cdot g \cdot h = \\
 &= m \cdot g \cdot \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \\
 &= \frac{1}{2} m \cdot g \cdot g \cdot v^2 : g^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\
 E_{\text{kin}} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2
 \end{aligned}$$

Am Beispiel des skizzierten Gedankenexperimentes, dessen Teilergebnisse natürlich überzeugend auch bei ausreichender Unterrichtszeit experimentell belegt werden können und auch sollten, lässt sich mit einer Klasse die Gleichung $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$ zur Beschreibung der potenziellen Energie ableiten. (Gewicht $G = \text{Masse } m \cdot \text{Erdbeschleunigung } g \cdot \text{angehobene Höhe des Körpers}$).

Die Setzung der Multiplikationszeichen wird in einem anschließenden Gedankenversuch begründet. Wird ein zweiter Körper halber Masse „ m “, aber doppelter Hubhöhe, angehoben, so ist ein gleich großer Energieaufwand wie im ersten Versuch erforderlich, denn $E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} m \cdot g \cdot 2 h = m \cdot g \cdot h$. Die Gleichheit beider Beträge lässt sich aber nur mit den beiden Mal- als Operationszeichen herstellen, nicht mit den übrigen, wie Schüler schnell erarbeiten können.

Fällt der angehobene Körper, wird seine gespeicherte potenzielle Energie in die kinetische verwandelt. Beim Aufprall auf die Unterlage gilt:

Energie vorher: Gesamte potenzielle Energie = Energie nachher: Gesamte kinetische Energie

Durch geringfügige Umformungen, wie angezeigt, lässt sich dann die Ableitung $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ unter

Beachtung der Fallgesetze für einen Körper, hier der Kugel, gewinnen.

Das beschriebene Gedankenexperiment für einen physikalischen Körper oder auch beispielhaft für einen Massepunkt, der gehoben und dann wieder fallen gelassen wird, macht Schülerinnen und Schülern höherer Klassen deutlich, dass Energiebeträge nur in der beschreibenden Zusammenfassung unterschiedlicher Basisgrößen, also in Gleichungen, erfasst werden können. Nicht die angehobene Masse ist im Beispiel schon die Energie, sondern sie ist mit Ihrem Gewicht in einem Gravitationsfeld Träger von Energie. Sie kann wieder fallen und die beim Heben aufgenommene Energie wieder freigeben. Überträgt man obige Überlegungen des Beispiels auf eine sehr große Zahl von Massepunkten, wird in der Vorstellung der Lernenden die große Gesamtwirkung verständlicher. Die Verwandlung der kinetischen Energie in weitere Formen wird beim Aufprall auf die Unterlage, dem eventuellen Platzen der Kugel, in weitere Energieformen sicht- und nachweisbar. (Eine Kugel aus Porzellan würde beispielsweise in viele kleine, zur Seite fliegende Massen zerplatzen; eine Kugel aus Plastik entsprechend der Größe des Energiebetrages verformt).

Die Übertragung mechanischer Verhältnisse auf elektrische ist natürlich begrenzt und wissenschaftlich kaum haltbar. Dennoch sollte sie ihrer Anschaulichkeit wegen in einem ersten Erklärungsversuch methodisch-didaktisch zur Erreichung eines besseren Vorverständnisses bei Jugendlichen vertretbar sein.

Im Unterricht zur Elektrizitätslehre sollte Schülerinnen und Schülern natürlich bewusst gemacht werden, dass das auf den Erdmittelpunkt gerichtete Gravitationsfeld „G“ der Erde durch das elektrische Feld „E“ zwischen den Polen und ein Massepunkt „m“ durch ein Elektron „e“ zu ersetzen sind.

Vergleicht man nun die Gleichung: $E_{\text{Pot}} = G \cdot h$ zur Beschreibung der potenziellen Energie eines angehobenen Körpers, der sich in viele kleine Teilchen ($G = < n \cdot \Delta m > \cdot g$) zerlegen und dann wieder zusammengefügen lässt, mit der auf anderem Wege nachfolgend in dieser Arbeit abgeleiteten elektrischen Energiegleichung:

$$E_{\text{el}} = U \cdot I \cdot t \text{ oder auch } E_{\text{el}} = I \cdot t \cdot U,$$

so ist die folgende Parallelität unverkennbar. $I \cdot t$, die Summe aller elektrischer Ladungen der in einem bestimmten Zeitraum fließenden Elektronen entspricht dem Gewicht vieler kleiner Masseteilchen, die den Körper in unserem obigem Beispiel bilden. Die Höhe h , die die Anhebung des Körpers angibt, ist vergleichbar mit dem Spannungsunterschied U zwischen zwei Punkten in einem Stromkreis.

Es liegt nahe zu vermuten, dass dieser beschriebene Vergleich aus der Mechanik in einem ersten Schritt den Schülerinnen und Schülern die Vorstellung von elektrischer Energie, bezogen auf einzelne Elektronen, erleichtern kann. Ein abschließender Merksatz könnte daher lauten:

„Elektronen sind Träger von Energie, nicht Energie selbst.“

3. Allgemeine Vorbereitungen im Forschungsprojekt für den Unterricht zur Einführung in die elementare Elektrizitäts- und Halbleiterlehre

3.1. Vorbereitung und Durchführung eines Forschungsprojektes

Um im Rahmen des Forschungsprojektes „Physikunterricht an der August-Wöhler-Realschule in Soltau“ zu erkunden, welche Möglichkeiten zur Steigerung des Lehr- und Lernerfolges in neunten Klassen der Realschulen bestehen, war es zunächst erforderlich, auf der Basis des für das Bundesland Niedersachsen gültigen Kerncurriculums für Physik die vorgegebenen Lernziele genauer festzustellen und diese in das Unterrichtskonzept einzubauen. Dort sind für die 9./10. Klassen zur Elektrizitätslehre unter anderen die folgenden Themen vorgegeben:

- Fachwissen: Die Schülerinnen und Schüler erklären den Begriff des Wirkungsgrades, ermitteln Energiekosten, erklären die elektromagnetische Wechselwirkung an Elektromotor und Generator, beschreiben die Funktion des Transformators auch im Energieversorgungsnetz und erläutern die Gleichrichterwirkung der Diode.
- Erkenntnisgewinnung: Die Schülerinnen und Schüler ermitteln den Zusammenhang zwischen Stromstärke, Spannung und elektrischer Leistung, ermitteln den Zusammenhang zwischen elektrischer Leistung, Zeit und Energie, berechnen die Energiekosten elektrischer Geräte aus ihrem Umfeld auch unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades, beschreiben Elektromotor und Generator als Energiewandler und vergleichen die Leistungen von verschiedenen elektrischen Geräten.

Der Erwerb von Kenntnissen über einfache Stromkreise mit ihren Schaltelementen ist bereits für den Unterricht in der 5./6. Klassenstufe vorgesehen. Im Unterricht der 7./8. Klassenstufe sind laut Lehrplan Messungen von Stromstärken, Spannungen und Widerständen den Lernenden zu vermitteln und mit Hilfe eines Elektronenmodells Vorgänge im Stromkreis zu deuten.

Unter den Oberbegriffen: Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewerten werden detailliert die Aktivitäten der Lernenden angegeben, die zum Erwerb fundierter elementarer Kenntnisse in der Elektrizitäts- und teilweise in der Halbleiterlehre führen.

Zur Mathematisierung des Physikunterrichtes wird festgestellt: „Ein Merkmal des Physikunterrichtes ist es, Naturgesetzmäßigkeiten durch mathematische Zusammenhänge zu beschreiben. Es ist Aufgabe des Unterrichts, die Lernenden auf dem Weg zu einer Beherrschung mathematischer Verfahren in der Physik schrittweise anzuleiten, wobei die physikalischen Phänomene im Vordergrund stehen. In jedem Fall wird dabei der Weg über eine sprachliche Beschreibung und über einfache Diagramme zur Angabe von Gleichungen und deren anschließender Interpretation führen.“ (Kerncurriculum Realschulen Niedersachsen, Lehrplan Physik, 2010, Seite 22).

Im Schuljahr 2009/2010 führte die August-Wöhler-Realschule in Soltau in der neunten Jahrgangsstufe fünf Klassen mit insgesamt 129 Schülerinnen und Schülern. Da in der beurteilenden Statistik die Aussagekraft statistischer Aussagen mit der Anzahl der festzustellenden Vorgänge N steigt, also um so wahrscheinlicher wird, bot diese Schule unter diesem Blickwinkel günstigere Voraussetzungen für eine forschende Untersuchung als etwa eine kleinere.

In Abstimmung mit der Schulleitung und den in den Klassen unterrichtenden drei Physiklehrern wurde vereinbart, unter Verantwortung und Führung des Autors der vorliegenden Arbeit, neue Möglichkeiten in der physikalischen Wissens- und auch experimentellen Könnensvermittlung zu erproben. Es galt insbesondere zu untersuchen und festzustellen, in welcher Weise selbst vorgefertigte Arbeitsplatten mit aufmontierten Schaltelementen zu halbvollendeten Stromkreisen, die im Unterricht unter Dazuschaltung von Stromversorgungsgeräten und multifunktionalen Messinstrumenten durch Schülerhand zu schließen waren, den Wissenserwerb der Lernenden in der Elektrizitäts- und elementaren Halbleiterlehre und auch deren manuelles Geschick beim Experimentieren erhöhen könnten. Für dieses Unterrichts- und Forschungsvorhaben standen in dem Schulhalbjahr vom Februar 2010 bis zum Juli 2010 insgesamt 12 beziehungsweise 13 neunzigminütige Doppelstunden in den einzelnen Klassen zur Verfügung.

3.2. Außerunterrichtlich erworbene Schülervorstellungen physikalisch-technischer Vorgänge überprüfen und im Unterricht notfalls korrigieren

Spätestens, wenn in der unterrichtlichen Wiederholung zur Festigung erworbenen Wissens physikalisch-technische Vorgänge abermals angesprochen werden, wird erfahrungsgemäß deutlich, wie hartnäckig viele Schülerinnen und Schüler an außerschulisch erworbenen Informationen oder auch selbst entwickelten Vorstellungen festhalten. (Duit, 2007, S.3). So äußerten einige Schülerinnen und Schüler während der Projektdurchführung in Soltau selbst nach mehrstündigem Unterricht in der Elektrizitätslehre die Meinung, dass Elektronen in Glühlämpchen verbraucht würden (Verbrauchsvorstellung). In Reihe geschaltete Lämpchen mit gleichen Angaben zur Betriebsspannung U und Stromstärke I „verbrauchten“ also nach dieser Vorstellung Elektronen, die erste mehr als abgestuft die nachfolgenden.

Da diese Auffassung von mehreren Jugendlichen in allen fünf, am Forschungsprojekt beteiligten Klassen, wie eine sofortige Nachfrage ergab, vertreten wurde, war es erforderlich, sie unmittelbar durch einen überzeugenden Versuch zu korrigieren. Gerade falsche Vorstellungen sollten insbesondere deshalb umgehend ausgeräumt werden, weil sie weiteres, richtiges und vertieftes Verstehen blockieren könnten.

Dass manche Schülerinnen und Schüler mit bereits außerschulisch erworbenen oder auch selbst erdachten Vorstellungen in den Physikunterricht eintreten, das ist der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung seit Längerem bekannt. Schon der amerikanische Psychologe Ausubel forderte Lehrer zur genaueren Untersuchung dieser Feststellung auf, wenn er formulierte: „Der wichtigste Einflussfaktor für das Lernen ist das, was der Lerner bereits weiß. Finden Sie das heraus und unterrichten Sie ihn entsprechend.“ (Hopf, Schecker und Wiesner, 2011, S. 29).

Ein besonderes Interesse Unterrichtender in der Sekundärstufe I finden sicherlich die aufschlussreichen Ausführungen R. Duit, wenn er abschließend in seiner Darstellung „Schülervorstellungen und Lernen von Physik“ in zwei „Hauptsätzen“ feststellt:

1. „Jede Schülerin, jeder Schüler macht sich ihr bzw. sein eigenes Bild von allem, was im Unterricht präsentiert wird - was die Lehrkraft sagt oder an die Tafel schreibt, was bei einem Experiment zu beobachten ist, was auf einer Zeichnung zu sehen ist, usw.“
2. „Das Bemühen der Lehrkraft, alles fachlich richtig zu erklären, führt insbesondere am Beginn des Unterrichtes über ein neues Thema häufig dazu, dass die Schülerinnen und Schüler etwas aus der Sicht der Physik Falsches lernen.“ (Duit, 2007, Seite 267).

Dem verantwortungsbewussten Unterrichtenden stellt sich natürlich die Frage, in welcher Weise vermieden werden kann, Lernenden „Falsches“ nahezubringen oder es wenigstens gering zu halten.

R. Duit verweist auf Bestrebungen, dass die Lernenden ihr Wissen selbstverantwortlich in einer konstruktivistisch ausgerichteten Unterrichtsform aufbauen (konstruieren), das heißt erarbeiten, müssen. Wissen der Lehrenden kann bei dieser Unterrichtsform nicht auf die Lernenden transferiert werden. Von eigenen Vorstellungen sich zu lösen und zu physikalisch haltbaren Aussagen zu gelangen, das gelingt aber nach Duit kaum, bestenfalls nur in kleinen Schritten. (Duit, 2004, S.268/269).

Er stellt des Weiteren fest, dass es erheblicher Anstrengungen im „normalen“ Schulalltag bedürfte, eine solche Umstellung hinsichtlich eines Konzeptwechsels auf Seiten der Lehrkräfte und auch der Ausstattungen in den Schulen zu bewirken.

Nach R. Duit wurden seit den nicht zufrieden stellenden ersten TIMSS- und PISA-Ergebnissen etliche Untersuchungen im Sinne konstruktivistischer Ansätze zur Effektivitätssteigerung des Lernens und Verstehens im Physikunterricht durchgeführt. Allerdings unter Ausnahmebedingungen und nicht in der Schul-Alltagspraxis.

4. Gezielte Unterrichtsvorbereitungen im Forschungsprojekt zur Einführung in die elementare Elektrizitäts- und Halbleiterlehre

4.1. Darstellung von vorbereiteten Arbeitsplatten für das Forschungsprojekt

Um Schülerinnen und Schülern angesichts weniger Unterrichtsstunden in der Elektrizitätslehre Gelegenheit zu geben, möglichst umgehend im anfänglichen Unterricht die Handhabung von Messinstrumenten, Stromversorgungsgeräten und Schaltelementen zu erlernen und diese vor allen Dingen zunächst überhaupt mit ihren Funktionen kennenzulernen, war es aus der Sicht des Unterrichtenden unabdingbar, schnell handhabbare und überschaubare Arbeitsplatten anzufertigen. Es galt dann im Unterricht, auf ihnen montierte halbfertige Stromkreise durch Schülerinnen und Schüler erkennen und mittels Kabelverbindungen selbst schließen zu lassen.

Erste einfache Versuche, von Schülerhand ausgeführt, sollten danach zum Beobachten und Feststellen von Bauteil-Eigenschaften, von physikalischen Vorgängen und auch eventuellen Gesetzmäßigkeiten veranlassen. Darüber hinaus war anzustreben, anfängliche Zurückhaltung der Lernenden, insbesondere der Schülerinnen, zu überwinden und Selbstvertrauen durch erfolgreiches erstes Experimentieren aufzubauen und schließlich auch Freude an der Physik zu erleben. So geschaffene Voraussetzungen erfüllen wichtige Grundbedingungen für ein weiteres, intensiveres und grundsätzliches Lernenwollen und damit für einen erfolgreicherer Physikunterricht.

Im Folgenden wird ein erster Überblick über einige vom Unterrichtenden eigens angefertigte Arbeitsplatten gegeben, die im gesamten Unterrichtprojekt, auch für die Einführung in die elementare Halbleiterlehre, in sechsfacher Ausfertigung für Gruppenversuche zur Verfügung standen.

1. Arbeitsplatte zum einfachen Stromkreis:

Mit Hilfe dieser Arbeitsplatte (siehe Abbildung 3) können Schülerinnen und Schüler erste einfache Handhabungen zum Aufbau eines Stromkreises einüben und unter Einsatz von Stromversorgungsgeräten und multifunktionalen Messinstrumenten Spannungs- und Stromstärkenmessungen an Widerständen und Glühlämpchen vornehmen. Zudem lassen sich Reihen- und Parallelschaltungen von Widerständen in Verbindung mit einem Glühlämpchen erstellen.

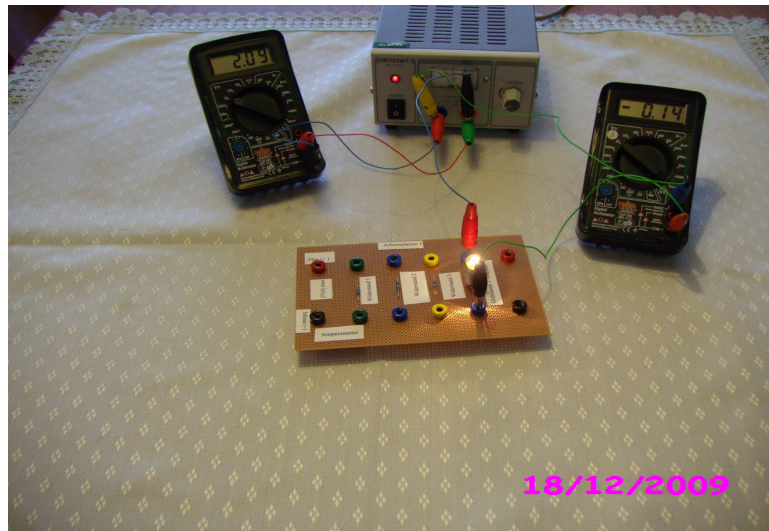


Abbildung 3: Arbeitsplatine 1

Auch die Kirchhoffschen Gesetze und das Ohmsche Gesetz lassen sich unter Einsatz dieser Platine in Schülerversuchen problemlos ermitteln.

Die folgende Schaltskizze zeigt den Schaltplan dieser Arbeitsplatine (siehe Abbildung 4):

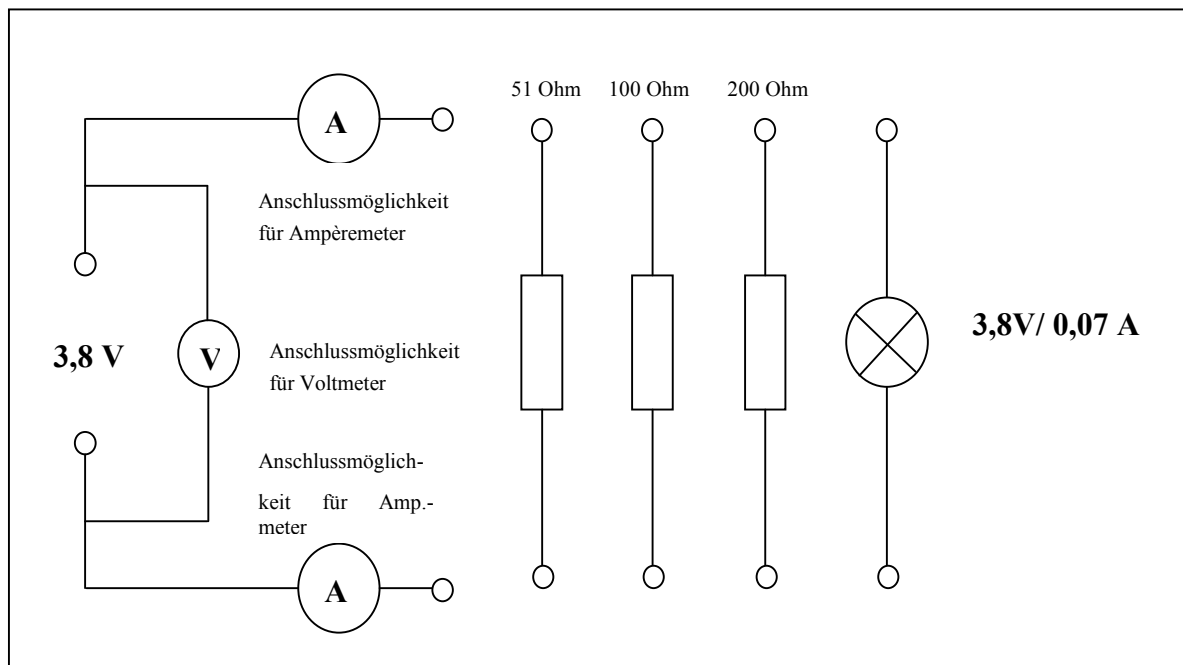


Abbildung 4: Die Schaltskizze zur ersten Arbeitsplatine

2. Arbeitsplatine LDR- u. NTC-Widerstand (siehe Abbildung 5): Zum Erkunden der Eigenschaften eines lichtabhängigen (LDR) und eines temperaturabhängigen (NTC) Widerstandes eignet sich diese

Arbeitsplatine. Zwei Schaltkreise sind durch Schülerhand einstellbar und zwei Erkenntnisse experimentell möglich: 1. Bei stärkerem Lichteinfall sinkt der Widerstandswert R des LDRs. 2. Steigt die Temperatur, erniedrigt sich dieser Widerstandwert des NTCs.

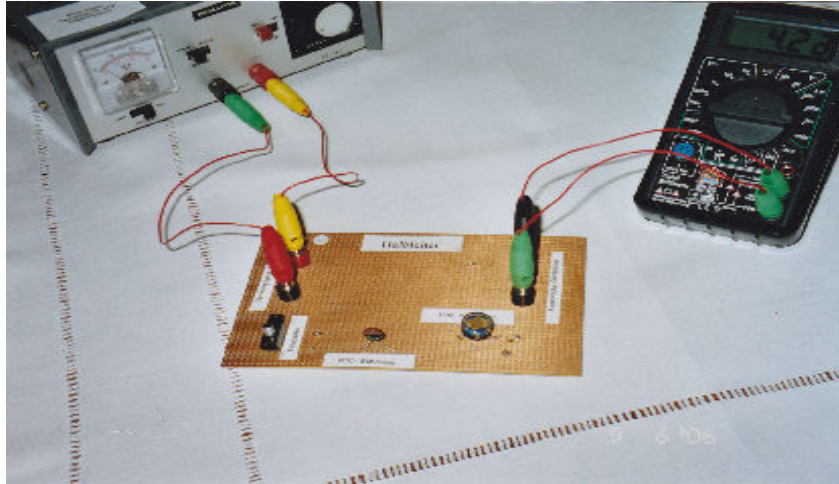


Abbildung 5: LDR- und NTC- Widerstand-Schaltbild: Abb.33

3. Arbeitsplatine Halbleiterdiode:

Mit dieser Platine (siehe Abbildung 6) lassen sich Einsichten in die Wirkungsweise von Halbleiterdioden erarbeiten. Dioden lassen elektrische Ströme je nach Polung entweder fließen oder sperren sie. Schülerinnen und Schüler erkunden, dass ein Durchlass durch Verbindung der Pluspole von Spannungsquelle und Diode miteinander und entsprechend der Minuspole bewirkt wird. Bei Sperrung durch Vertauschung der Pole fällt die gesamte Spannung an der Diode ab.

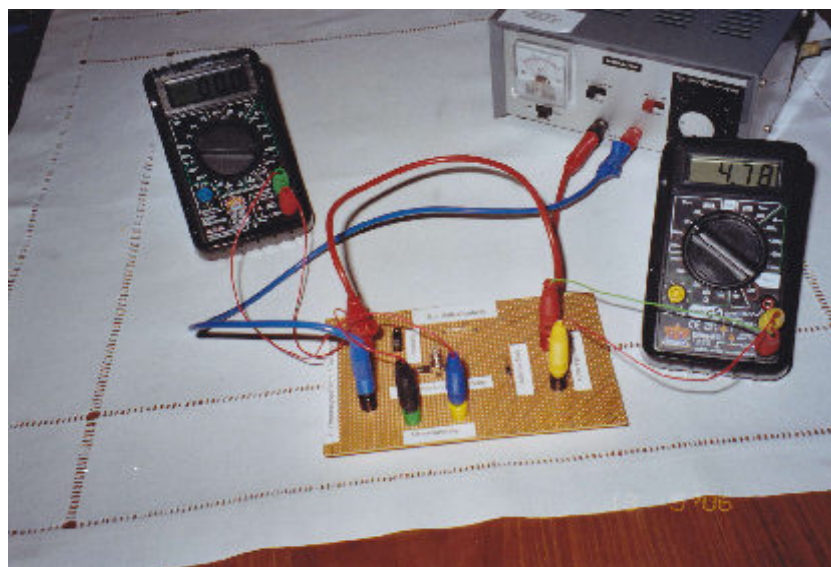


Abbildung 6: Die Arbeitsplatine Halbleiterdiode-Schaltplan: Abb.34

Versuche mit dieser Platine schaffen darüber hinaus ein Vorverständnis für Gleichrichterschaltungen. In diesen gilt es, Wechselströme in Gleichströme zu verwandeln, etwa für den Betrieb eines Radios. Gleichrichterschaltungen finden in vielen mit Gleichstrom zu betreibenden Geräten eine unabdingbare Anwendung. Insbesondere schon deshalb, weil in Haushalten für deren elektrische Energieversorgung nur eine Wechselspannungsquelle zur Verfügung steht. Um Energieverluste beim Transport über längere Strecken vom Kraftwerk zum Endverbraucher möglichst gering zu halten, stellt Wechselstrom die geeignetere Transportform gegenüber Gleichstrom dar.

4. Darlingtonschaltung: Transistoren verstärken sehr schwache Ströme. In einer Darlington-Schaltung (siehe Abbildung 7) miteinander verbundene Transistoren verstärken entsprechend der Formel:

$$\text{Verstärkung}_{\text{Gesamt}} = \text{Verst.}_{\text{Tr1}} \cdot \text{Verst.}_{\text{Tr2.}}$$

Die Glühlampe rechts oben kann durch sehr schwache Eingangsströme zum Leuchten gebracht werden.

Darlingtonschaltung zweier Transistoren :

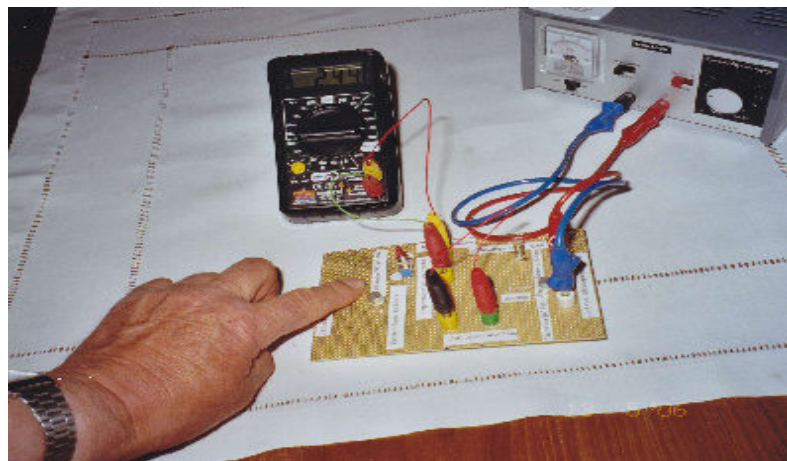


Abbildung 7: Darlingtonschaltung zweier Transistoren:

5. Transistor-Mess-Schaltung:

Bei der Transistor-Mess-Schaltung (siehe Abbildung 8) steuert ein geringer Basisstrom I_B einen stärkeren Kollektorstrom I_K . Diese Wirkungsweise findet in Verstärkerschaltungen eine vielfache Anwendung. Mittels dieser Schaltung lassen sich unter Einstellung unterschiedlich großer Basisströme I_B auch die Daten für zugehörige Emitter-Kollektor-Ströme I_{CE} des verwendeten Transistors BC 141/16 ermitteln.

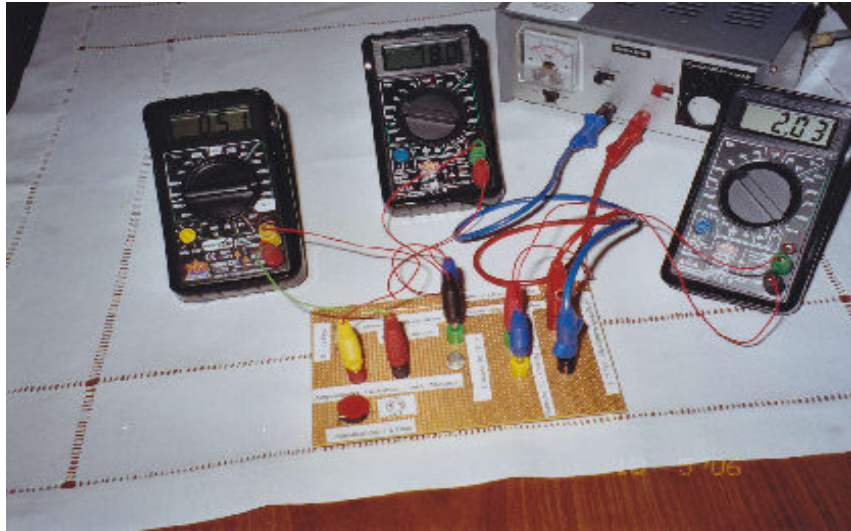


Abbildung 8: Die Arbeitsplatte Transistor-Mess-Schaltung

Der schwache Basisstrom I_B wird über eine eingebaute Potentiometerschaltung erzeugt. (Siehe rotes Rändelrädchen). Aus der graphischen Darstellung der Werte des Basisstromes und der des zugehörigen Kollektorstromes in einem Koordinatenkreuz lässt sich recht genau der Verstärkungsfaktor V eines Transistors als Quotient aus beiden Werten durch Schülerinnen und Schüler bestimmen.

6. Lichtempfindliche Widerstände steuern elektrische Ströme:

In Verbindung mit einer Potentiometer- und Verstärkerschaltung (siehe Abbildung 9) können LDR-Widerstände als Dämmerungs- oder Warnlichtschalter problemlos von Schülern und Schülerinnen eingesetzt und dann erlebt werden.

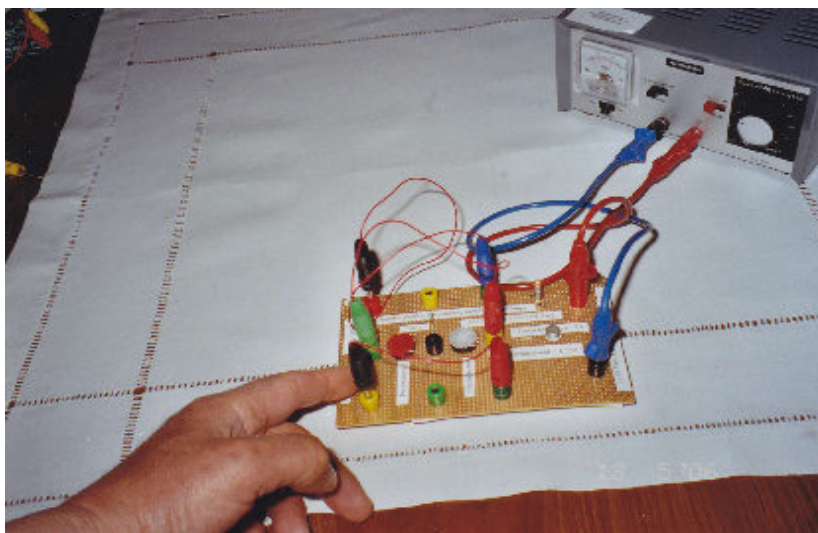


Abbildung 9: Die Arbeitsplatte Lichtempfindliche Widerstände

7. Leuchtdioden:

Leuchtdioden wandeln elektrische Energie in Strahlungsenergie verschiedener Frequenzen. Welche Schleusenspannungswerte die einzelnen rot, gelb, grün und blau leuchtenden Dioden haben, lässt sich mit dieser Arbeitsplatte ermitteln. (Siehe Abbildung 10).

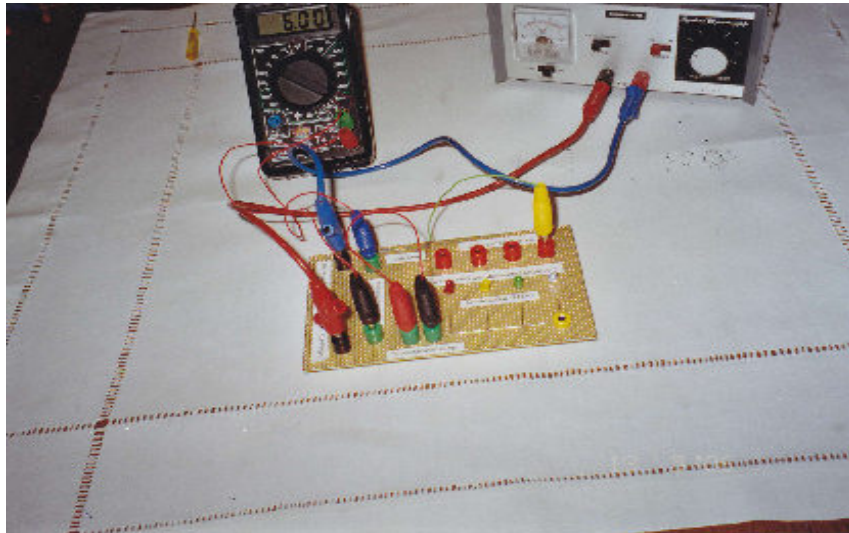


Abbildung 10: Die Arbeitsplatte Leuchtdioden

8. Solarzellen: In Solarzellen wird Strahlungsenergie der Sonne in elektrische Energie verwandelt. (siehe Abbildung 11)

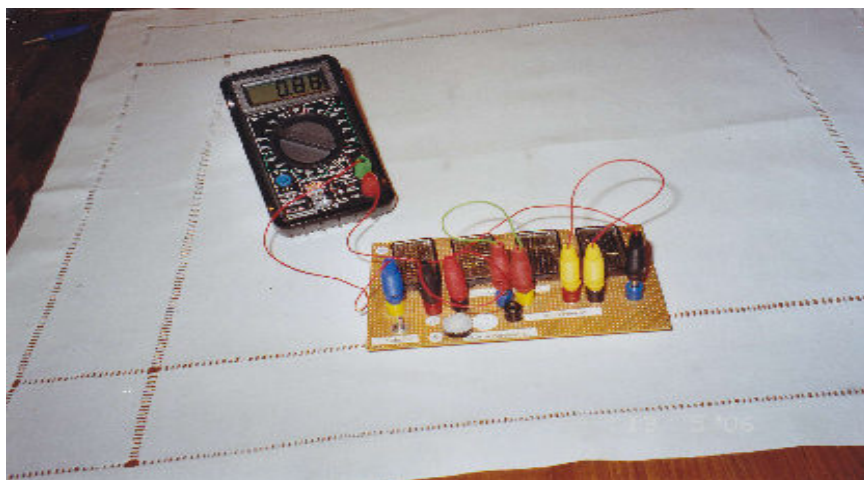


Abbildung 11: Arbeitsplatte Solarzellen

Durch Reihenschaltung von Zellen lässt sich die gesamte abnehmbare Spannung U erhöhen, durch Parallelschaltung die gesamte Stromstärke I . Mittels eines Lastwiderstandes R_L lassen sich Spannungs- und Stromstärkewerte einer Solarzelle beziehungsweise mehrerer Zellen so einstellen, dass ein maximaler Leistungsabgriff möglich ist.

4.2. Zielsetzungen in der Soltauer Unterrichtskonzeption

Wichtige, im Soltauer Untersuchungsprojekt angestrebte Unterrichtsziele zur Einführung in die elementare Elektrizitätslehre, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Elektrische Spannungen U (gemessen in Volt) mit multifunktionalen Messinstrumenten exakt an einzelnen, in Reihe und parallel geschalteten Widerständen R messen; elektrische Stromstärken I (gemessen in mA oder in A) ebenfalls mit multifunktionalen Messinstrumenten so genau wie möglich an unterschiedlich geschalteten Widerständen R und Glühlämpchen feststellen; Wechsel- und Gleichströme auf dem Oszilloskop darstellen und beim Messen mit Multimetern voneinander unterscheiden,
2. Das Bohrsche Atommodell erklären und insbesondere den Übergang der Valenzelektronen von der Bindungs- in die Leitungsfunktion erklären; am Beispiel von Radon die Instabilität des Atomkerns mit einem Geiger-Müller-Zähler aufzeigen,
3. Die Berechnung genutzter elektrischer Energie (Einheit: Wattsekunden bzw. Kilowattstunden) in der eigenen Wohnung nachvollziehen und den Leistungsbegriff (Einheit: Watt) vom Energiebegriff zu unterscheiden lernen,
4. Das Ohmsche Gesetz ($U = I \cdot R$) erarbeiten, beispielhaft anwenden und den Toleranzbegriff beim Messen von Widerstandsgrößen erklären,
5. Die Kirchhoff-Gesetze ableiten und anwenden;

Zur Unterrichtseinheit Halbleitertechnik galt es, die folgenden Unterrichtsziele zu erarbeiten:

1. Der elektrische Widerstandswert R eines Metalldrahtes erhöht sich mit zunehmender Temperatur,
2. Je größer die Beleuchtungsstärke $E_{(Lux)}$, desto geringer der elektrische Widerstand R eines lichtempfindlichen Widerstandes,
3. Je höher die Temperatur T , desto geringer der Widerstand R eines temperaturempfindlichen Widerstandes R ,
4. Je nach Polung sperrt eine Halbleiterdiode den elektrischen Strom bzw. lässt ihn fließen,
5. Geringe Basisströme I_B steuern in Transistoren stärkere Kollektorströme I_C ,
6. Der Verstärkungsfaktor B eines Transistors lässt sich bestimmen,

7. Leuchtdioden mit unterschiedlichen Schwellenspannungen verwandeln elektrische Energie in Strahlungsenergie,
8. Solarzellen setzen Strahlungsenergie der Sonne in elektrische optimal bei eingestelltem Lastwiderstand R um.

4.3. Nicht haltbare Schülervorstellungen in der Elektrizitätslehre durch richtige physikalisch überprüfbare ersetzen

Dass junge Menschen sich, wie eingangs in vorliegender Arbeit angedeutet wurde, auch ein eigenes Bild ihrer physikalisch-technischen Umwelt mit besonderen Erklärungen machen, das ist der naturwissenschafts-didaktischen Forschung nicht unbekannt. Jedoch sind diese Vorstellungen und Erklärungen, an denen bisweilen hartnäckig festgehalten wird, oft physikalisch nicht haltbar und blockieren das Erlernen und Verstehen gesicherter und neuer, weiter gefasster Erkenntnisse und Gesetzmäßigkeiten. Gerade nicht sichtbare Vorgänge sich vorzustellen, wie beispielsweise das Fließen eines Elektronenstromes, veranlassen insbesondere zu vereinfachten, aber objektiverweise nicht haltbaren Erklärungen.

„Ein wichtiger Grund für die genannten Lernschwierigkeiten liegt darin, dass Schüler unter Strom etwas ganz anderes verstehen als die Physik. Das Wort Strom wird in der Umwelt des Schülers in der Regel als etwas „Energetisches“ gesehen. „Strom, das ist die Energie, die wir täglich nutzen“-Wendungen, Slogans wie diese finden sich in den Massenmedien. Was für den Physiklehrer etwas Fließendes ist (genauer fließende Ladungen sind), bedeutet für den Schüler also in der Regel etwas, das der Energie nahe ist. Dabei ist wiederum zu beachten, dass der Alltagsenergiebegriff der Schüler vom physikalischen deutlich abweicht“ (Duit, 2007, Seite 3/4).

Wie lassen sich wissenschaftlich untermauerte Erkenntnisse in der Elektrizitätslehre Jugendlichen mit „falschen“ eigenen Vorstellungen vermitteln? Wie diese hernach sichern? Das sind wichtige Fragen, die, wenn möglich, schon in der Vorbereitung zum Physikunterricht bedacht werden sollten. Zweifelsohne bedarf es zunächst einer exakten Sprache. So sollte zum Beispiel die vielfach verwendete allgemeine Bezeichnung „Strom“ im Unterricht je nach Erklärungsabsicht durch die Begriffe „Ladung Q “, „Spannung U “, „Stromstärke I “, „Leistung P “ oder „elektrische Energie W “ mit Nennung der Einheiten ersetzt werden. Des Weiteren sollte, wenn möglich, schrittweise in einfachen Schülerversuchen der Nachweis geführt werden, dass nur gesicherte physikalische Aussagen, also beispielsweise die Kirchhoff-Gesetze, zu richtigen Lösungen und Schlüssen führen. Immer sollte dabei auch der Blick auf die gesamte Schaltung mit eventuellen Folgewirkungen gerichtet sein.

Auch ist es beispielsweise im Unterricht für ein begründeteres Verständnis von Sachverhalten hilfreich, hervorzuheben, dass elektrische Energie in Glühlampen in Strahlungsenergie umgesetzt wird, nicht der Elektronenstrom selbst. Er ist nur Träger dieser Energie. Jugendliche von diesem Umstand im Unterricht zu überzeugen, heißt zunächst, experimentell die von einer Spannungsquelle „ausgehende Stromstärke“ I_A in

einem Stromkreis mit einer Glühlampe mit einem Ampéremeter zu messen und mit dem Messwert der „zurückkehrenden“ Stromstärke I_A zu vergleichen.

Die Feststellung gleicher Stromstärkewerte und damit die Erkenntnis, dass Elektronen nicht verbraucht werden, wird dann vermutlich auch die Bereitschaft der Lernenden steigern, eigene, falsche Vorstellungen aufzugeben und die Bereitschaft zur Ableitung der Gleichung zur Berechnung der elektrischen Energie aus bekannten Grundeinheiten erhöhen. Schrittweise sollte diese dann mit Blick auf schon bekannte Abhängigkeiten von der Spannung, der Stromstärke und Zeitspannen, unterstützt durch Versuche mit gleichwertigen Glühlämpchen in Reihen- und Parallelschaltung als Energie umwandelnde Elemente, experimentell und auch theoretisch abgeleitet werden. Das Ergebnis dieser Ableitung wären dann die beiden folgenden Gleichungen:

$$W_{(\text{Wattsek.})} = U_V \cdot I_A \cdot t_s$$

oder

$$W_{(\text{kWh})} = 1000 \cdot U_V \cdot I_A \cdot t_h$$

4.4. Der Zeitplan der empirischen Untersuchung

Das Forschungsprojekt ‚Das Erlernen und Verstehen elementarer Funktionen in der Elektrizitäts- und Halbleiterlehre mittels vorbereiteter Arbeitsplatten fördern‘, das an der Soltauer August-Wöhler-Realschule im 2. Schulhalbjahr 2009/2010 durchgeführt wurde, lässt sich in seinem zeitlichen Verlauf mittels des folgenden Zeitstrahles übersichtlich darstellen. (siehe Abbildung 12).

Zeitstrahl



KW	Datum	Inhalt
5	4. / 5.02.2010	Beginn des Unterrichtes in fünf 9. Klassen, Erhebung der Vorkenntnisse, Erhebung der Schülereinstellungen
6		
7		
8		
9		
10	17.03.2010	Wissenstest: Rhönecktest in allen Klassen
11		
12		
13		
14		
15	15. / 16.04.2010	Klassenarbeit 1 in allen Klassen
16		
17		
18		
19		
20	03.06.2010	Klassenarbeit 2 in allen Klassen
21		
22		
23		
24		
25	16.06.2010	Ende des Unterrichtes
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
	24.09.2010	Nachtest: Rhöneck-Test in allen Klassen wiederholt

Abbildung 12: Der Zeitstrahl der Untersuchung

4.5. Vortest: Das Wissen der Soltauer Jugendlichen in der Elektrizitätslehre und deren Einstellungen zum Physikunterricht in einer Befragung erkunden

Im Physikunterricht Lernenden neue Wissensinhalte überzeugend zu vermitteln, das heißt vor allen Dingen in psychologischer Sicht auch, an von ihnen schon Erfahrenes anzuknüpfen. Zur Erkundung des Vorwissensstandes der Schülerinnen und Schüler der Versuchsgruppe in der Elektrizitäts- und auch in der Halbleiterlehre war es daher zu Beginn des Forschungsprojektes im Februar 2010 von nicht unerheblicher Bedeutung zu erfahren, über welche Vorkenntnisse sie verfügten. Aus der Beantwortung von schriftlich gestellten Fragen sollte das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler erkundet werden.

Ein Fragebogen, allen Schülerinnen und Schülern in den Klassen zur Beantwortung vorgelegt, sollte dem Unterrichtenden ausreichenden Aufschluss bringen. Da bisher kein Unterricht in der Elektrizitätslehre stattgefunden hatte, konnten nur geringe Kenntnisse erwartet werden. Die Fragen im Wissenstest wurden daher bewusst sehr einfach und allgemein gehalten.

In drei Gruppen lassen sich die Fragen, hier kurz zusammengefasst, einteilen:

1. Einfache Wissensfragen zu Grundlagen der Elektrizitätslehre,
2. Einfache Wissensfragen zur elementaren Halbleiterlehre,
- 3.1. Einschätzung des Physikunterrichtes aus Schülersicht, (offenes Antwortformat),
- 3.2. Verbesserungsvorschläge der Schülerinnen und Schüler, (offenes Antwortformat).

(Hinweis: Der Fragebogen ist in vollem Umfang im Anhang abgedruckt)

Die Auswertung aller Antwortbögen ergab, dass ein tragfähiges Grundwissen für weiterführende Erkenntnisse in der Elektrizitätslehre nicht vorhanden war. Im Rahmen des Forschungsprojektes war es daher unerlässlich, zunächst grundlegende Kenntnisse der elementaren Elektrizitätslehre den Schülern und Schülerinnen zu vermitteln.

Fragen zur Halbleitertechnik konnten noch gar nicht beantwortet werden. Es wurden lediglich Namen einiger mit halbleiterischen Schaltelementen bestückter Geräte genannt, nicht aber deren Funktionen. Auch diese Erkenntnis machte deutlich, dass die geplanten Unterrichtseinheiten zur Halbleitertechnik in dem vorgegebenen Halbjahres-Zeitraum nur eingeschränkt mit den Jugendlichen erarbeitet werden könnten.

Antworten zur Frage 3.1. („Schülerinnen und Schüler bekunden hin und wieder eine Abneigung gegenüber dem Physikunterricht. Wie ist Deine Meinung?“) wurden von 109 Schülern und Schülerinnen gegeben. In der folgend abgedruckten Tabelle wurden diese, in Kategorien zusammengefasst, wiedergegeben (siehe Abbildung 13):

SCHÜLERANTWORTEN:	ANZAHL DER ANTWORTEN
Physik ist ein spannendes u. interessantes Fach	18
Physik ist als Teil der Allgemeinbildung wichtig	13
Es sollten viel mehr Versuche durchgeführt werden, weniger Theorie	11
Physik ist ein schwieriges Fach	9
Ich mag das Fach Physik nicht	8
Physikunterricht sollte „gestaltet“ (strukturiert) werden	7
Funktionen physikalischer Abläufe sollten auch erklärt werden	7
Physikunterricht ist oft langweilig	7
Funktionen physikalischer Abläufe sollten auch erklärt werden	6
Ich mag Physik gern	5
Physik ist für mich ein sehr wichtiges Fach	4
Physik ist nicht wichtig	4
Ich will keine Physikerin werden	2
Ich habe keine Meinung zur Physik	2
Der Sinn von Versuchen sollte besprochen werden	1
Den Physikunterricht wie bisher weiterführen	1
Ich verstehe die Logik der Physik nicht	1
Genauere Erklärungen sollten gegeben werden	1
Physik sollte ein Wahlfach sein	1
Die Themen sind unverständlich	1
Bitte Mädchenthemen anbieten	1
Physik ist sehr lehrreich	1
Ich weiß noch zu wenig über Physik	1

Abbildung 13: Auswertung der Umfrage

Antworten zu der Frage 3.2. („Was sollte <könnte> nach Deiner Meinung anders gemacht werden?“) wurden von 73 Befragten wie folgt angegeben (siehe Abbildung 14):

Schülerantworten	Anzahl der Antworten
Es sollten mehr Versuche durchgeführt werden	34
Die Schüler sollten Experimente selbst ausführen können	22
Theoretische Erklärungen sollten viel stärker zurückgenommen werden	6
Es sollte genauer erklärt werden	4
Bessere und auch mehr Übersichten sollten angeboten werden	4
Häufiger wiederholen; Merksätze formulieren; langsamer voranschreiten; Übersichten schaffen;	3

Abbildung 14: Auswertung der Umfrage- Frage 3.2

Die mehrheitlich abgegebenen Antworten auf beide Fragen zeigen, dass dem Physikunterricht unter den Schülerinnen und Schülern eine beachtliche Bedeutung beigemessen wird. Der Wunsch nach Durchführung einer größeren Zahl von Schülerversuchen bringt zum Ausdruck, auch in direkter Begegnung mehr über physikalisch-technische Sachverhalte zur Erreichung einer höheren Allgemeinbildung zu erfahren. Diese Aufforderung sollte Unterrichtende zur kritischen Betrachtung ihrer unterrichtlichen Planungen veranlassen.

5. Anlage der Untersuchung

5.1. Wissenserwerbungen durch Tests feststellen

Eine Antwort auf die Frage zu finden, ob Schülerinnen und Schülern der neunten Jahrgangsstufe durch den Einsatz von Arbeitsplatinen der Einstieg in die elementare Elektrizitäts- und Halbleiterlehre erleichtert und gleichzeitig auch der Lerneffekt gesteigert werden könnten, bildete den Anlass zur Durchführung des vorliegenden Forschungsprojektes. Dazu wäre es erforderlich gewesen, die im Unterricht von den Jugendlichen der Schulklassen erworbenen Wissens- und Könnenszuwächse als Lernerfolge in einem Untersuchungsdesign mit Vor- und Nachtest festzustellen, diesen auszuwerten und mit Ergebnissen in anderen, traditionell unterrichteten Klassen zu vergleichen.

Da in den Schuljahren, die dem Projekt vorausgingen, in allen fünf neunten Klassen der Soltauer Realschule laut Aussagen der Fachlehrer kein Unterricht zur Einführung in die Elektrizitätslehre erteilt worden war, wäre es sinnlos gewesen, einen etablierten Wissenstest zur Elektrizitätslehre einzusetzen. Es wurde daher stattdessen der oben beschriebene einfache Vorwissenstest eingesetzt..

Ein Kontrollgruppendesign der Untersuchung wäre wünschenswert gewesen, hätte jedoch die Zustimmung der Schulleitung und der Physiklehrer nicht gefunden. Da im Bereich der Elektrizitätslehre etablierte und wohlherprobte Wissenstests verfügbar sind, die auch in der vorliegenden Untersuchung eingesetzt werden konnten, lag es nahe, statt eine Kontrollgruppe einzusetzen, einen Vergleich mit Ergebnissen aus der Literatur durchzuführen. Der Rhönecktest von 1986 bot sich dazu an. Auch Starauschek hat diesen Test 2001 eingesetzt.

Nach einer ersten Arbeitsphase wurden den Schülerinnen und Schülern der Erprobungsgruppen die Fragen des „Rhönecktests“ zur Beantwortung vorgelegt.

5.2. Der „Rhönecktest“

Der „Rhönecktest“ ist ein erprobter und anerkannter Test zur Ermittlung und Überprüfung von Kenntnissen Jugendlicher in der Elektrizitätslehre. Er wurde in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts entwickelt und in mehreren Ländern Europas Gymnasiasten zehnter Klassen vorgelegt. Zur richtigen Beantwortung anzukreuzender Fragen müssen die Schüler und Schülerinnen klare Vorstellungen über elektrische Spannungen U , elektrische Stromstärken I , über ohmsche Widerstände R , deren Einheiten und ihre experimentellen Messungen verfügen. Darüber hinaus ist es erforderlich, Reihen- von Parallelschaltungen unterscheiden zu können, die Kirchhoff-Gesetze und auch das Ohmsche Gesetz zu beherrschen und zu wissen, dass auch nicht leuchtende Lampen eine elektrische Verbindung darstellen können.

Der gesamte Umfang aller Fragen dieses Testes ist im Anhang 2 dieser Untersuchung in einer Nachzeichnung vom Autor abgebildet. (v. Rhöneck, 2007, Seite 167).

Über die bloße Feststellung richtiger beziehungsweise falscher Antworten hinaus und damit innerhalb einer Lerngruppe über einzelne Schülerleistungen Aussagen machen zu können, ermöglicht er dem Unterrichtenden auch, über vorhandene falsche und unzulängliche Denkweisen vieler Jugendlicher Aufschluss zu erhalten. Eine allseits zufriedenstellende Bewertung des Testes über Reliabilität, Validität und Objektivität harrt gegenwärtig noch ihrer Vollendung.

Mangels ausreichenden Vorwissens, aber auch angesichts eines vielfach falsch angewendeten allgemeinen Sprachgebrauches und schließlich wegen fehlender begründeter Erfahrungen und zugehöriger Erklärungen sind diese „sogenannten Alltagsvorstellungen“ meist allzu unkritisch entstanden und daher physikalisch nicht haltbar. Sie versperren überdies ein weiteres und tieferes Eindringen in physikalische Sachverhalte und sollten daher im Physikunterricht erkannt und überwunden werden. Die physikwissenschaftsdidaktische Forschung kennt und nennt einige typische, oft wiederkehrende Schülerdenkweisen und ist bemüht, Wege und Möglichkeiten zu finden, diese umgehend durch wissenschaftlich gesicherte zu ersetzen. Koller, Waltner und Wiesner stellen fest:

„Die Elektrizitätslehre, und hier vor allem der Begriff der elektrischen Spannung, wird von den meisten Lehrkräften als besonders schwierig eingeschätzt. Dementsprechend gibt es seit Langem vielfältige intensive Bemühungen, diesen Inhaltsbereich den Schülerinnen und Schülern zugänglicher zu machen.“ (Koller, Waltner und Wiesner, 2008, S. 6/7).

Welche Alltagsvorstellungen müssen Lernende überwunden und durch physikalisch haltbare ersetzt haben, wenn sie alle Fragen des von Rhönecktestes richtig beantworten wollen? Dazu müssen die im Folgenden unterstrichenen Begriffe geklärt und dann sehr genau von den Lernenden beachtet und erfasst worden sein.

1. Stromverbrauchsvorstellung: Zu wissen, dass „elektrischer Strom“ nicht als „Menge“, etwa gespeichert in einer Batterie oder in einem Akkumulator, aufgefasst werden kann, sondern als „fließende Energie“, zu berechnen mit Hilfe der Gleichung: $W = U \cdot I \cdot t$, das ist für die Lösung der Aufgaben 1, 4 und 5 unerlässlich. Elektronen in ihrer umfassenden Menge, die pro Sekunde durch den Leiter fließen, sind Träger dieser Bewegungsenergie. Sie selbst werden nicht verbraucht. Der Vergleich mit einem fahrenden Auto kann im Unterricht unter Umständen für ein besseres Verstehen hilfreich sein. Die mitgeführte Energie des Fahrzeuges, langsam durch Erhöhung der Geschwindigkeit als kinetische Energie aufgebaut, wird bei einem Zusammenstoß wieder frei. Die Höhe ihres Betrages wird dann am angerichteten Schaden sichtbar.

2. Spannung - Stromstärke: Die beiden Begriffe „elektrische Spannung“ und „elektrische Stromstärke“ müssen sehr genau zur Lösung der Aufgaben 2 und 3 voneinander unterschieden werden. Das geschieht zweckmäßigerweise durch die Messung des Spannungsabfalls (Einheit: Volt) an einer Glühlampe mit einem zu dieser parallel geschalteten Voltmeter. Ein in Reihe geschaltetes Amperemeter im gleichen Stromkreis misst die die Lampe durchfließende Elektronenzahl pro Zeiteinheit, angegeben als Stromstärke und gemessen in der Einheit: Ampere. Hilfreich und erstaunlich für Schüler ist erfahrungsgemäß die Feststellung,

dass bei hoher Spannung U eine geringe Stromstärke I gemessen werden kann und bei geringerer Spannung U eine höhere Stromstärke I möglich ist. Gemäß dem Ohmschen Gesetz ist der Gesamtwiderstand R im Stromkreis dafür bestimmend.

3. Lokales Denken: Zur Lösung der Aufgabe 6 ist zu beachten, dass die Stromkreis-Verzweigungen gleichwertig und die Stromstärken gemäß der erarbeiteten Gleichung $I_{\text{ges.}} = I_1 + I_2 + I_3$ daher bei Parallelschaltung zu berechnen sind. Eine Einzelbetrachtung eines Stromzweiges ist nicht ausreichend, die gesamte Schaltung ist stets zu beurteilen.

4. Sequentielle Argumentation: Zur Lösung der Aufgabe 7 müssen die Schülerinnen und Schüler wissen und anwenden, dass Stromkreise als ganze Einheiten zu betrachten sind, für die abgeleitete Gesetze gelten. Aus der experimentellen Erfahrung, dass bei Reihenschaltungen die Stromstärken I überall im Stromkreis gleich groß sind, lässt sich schließen, dass Veränderungen „vor“ oder „hinter“ einem „Energienutzer“ die gleiche Wirkung haben.

5. Spannungsmessungen: Nach Einführung in die elementare Elektrizitätslehre sollten Schülerinnen und Schüler aus experimenteller Erfahrung gelernt haben, dass Spannungsabfälle nur parallel zu Energie umsetzenden Schaltelementen gemessen werden können. An Leitungen, in denen Elektronenströme gar keine Hindernisse überwinden müssen, kann es daher auch keinen Spannungsabfall geben. Aufgabe 8 stellt daher insgesamt keine besondere Schwierigkeit für Schülerinnen und Schüler dar. Wenn trotzdem Jugendliche diese Aufgabe nicht lösen, so ist deren Wissensstand oft wiederkehrenden, unvermeidbaren Rückfällen in Alltagsvorstellungen zuzuordnen.

6. Das Ohmsche Gesetz: Die Aufgabe 9 lässt sich ohne Kenntnis des Ohmschen Gesetzes nicht lösen. Gerade sie offenbart, dass nur mit gesicherten physikalischen Erkenntnissen Lösungen gefunden werden können, die auch experimentell bestätigt werden. Bei konstanter Spannung U einer Batterie oder eines Akkumulators und Vergrößerung eines Widerstandes R in einem Stromzweig, verringert sich in diesem zwangsläufig die Stromstärke I . Im ersten Stromkreis tritt keine Veränderung ein.

7. Reihen und Parallelschaltung: In Aufgabe 10 ist zu erkennen, dass zwei in sich parallel geschaltete Lampengruppen zueinander in Reihe angeordnet sind. Die gleichbleibende Gesamtstromstärke I , die beide Gruppen durchfließt, bewirkt im rechten Bereich in der Lampe C wegen des geringeren Widerstandes eine höhere Stromstärke als in den Lampen D und E. Im Vergleich zur Lampe B wird daher Lampe C von einer relativ größeren Stromstärke durchflossen. Eine gestreckt gezeichnete Schaltskizze erleichtert das Verstehen der Funktionsabläufe in dieser Schaltung erheblich.

8. Parallelschaltung: In Aufgabe 11 sind alle Lampen parallel geschaltet, d.h. die Spannung U an allen Lampen ist gleich groß. Laut Ohmschem Gesetz sind dann bei gleich großen Widerständen R der Lampen auch die Beträge der Stromstärken I gleich groß.

9. Offene und geschlossene Schalter in elektrischen Schaltungen: Die Aufgabe 12.1. stellt bei geschlossenem Schalter einen einfachen Stromkreis dar, an deren Lampen jeweils 3 Volt als Teilspannungen abfallen. In der Schaltung 12.2. fällt die gesamte Spannung $U = 6$ Volt am geöffneten Schalter S ab. Elektronen fließen natürlich nicht, die Glühfäden in den Lampen leuchten daher nicht, stellen aber doch eine elektrische Verbindung dar.

5.3. In der vorliegenden Untersuchung erworbene Lernerfolge der Soltauer Schülerinnen und Schüler mit denen anderer Studien vergleichen

In der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung werden im Hinblick auf die Messung der Unterrichtserfolge vielfältige Prüfungskriterien und Prüfungsverfahren genannt. Soll festgestellt werden, welche kognitiven Leistungssteigerungen die Lernenden im Rahmen des Unterrichtsangebotes erworben haben, so bieten sich für objektive Bewertungen und Vergleiche vornehmlich schriftliche Prüfungsverfahren an.

In der folgend abgebildeten Tabelle (siehe Abbildung 15) sind die Ergebnisse des Rhönecktestes für vier verschiedene Studien aus der fachdidaktischen Forschung aufgeführt. Bei Test 1 handelt es sich um den erwähnten Wissenstest, der den Schülerinnen und Schülern der Erprobungsgruppe im März 2010 nach sechs Unterrichts-Doppelstunden vorgelegt wurde ($N=122$). Der gleiche Test wurde im September 2010 den Schülerinnen und Schülern, nunmehr in der zehnten Klasse, als Nachtest abermals vorgelegt ($N=101$).

Zum Vergleich wurden herangezogen:

- Rhöneck 1986: Die Ergebnisse der Originaluntersuchung von v. Rhöneck (1988), die im Rahmen einer internationalen Vergleichsstudie auch an baden-württembergischen Gymnasien der Jahrgangsstufe 10 erhoben wurden ($N=189$),
- Staraushek 2001: Diese Daten wurden im Rahmen einer Evaluation des Karlsruher Unterrichtskonzeptes erhoben. Es handelt sich um die traditionell unterrichtete Kontrollgruppe der Evaluation, bestehend aus baden-württembergischen Gymnasiasten der Jahrgangsstufe 10 ($N=93$).

Aufgabennummer	Alltagsvorstellungen	Test 1- Soltau	Test 2- Soltau	Test (2001) Staraschek	Test (1988) Rhöneck
		N = 122	N = 101	N = 93	N = 189
1.1.	Stromverbrauch	0,80	0,82	0,62	0,71
1.2.		0,70	0,75	0,38	0,49
1.3.		0,61	0,66	0,29	0,28
2.1.	Anschluss-Sequenz	0,94	0,97	0,89	0,98
2.2.		0,83	0,92	0,39	0,44
2.3.		0,68	0,82	0,20	Keine Angabe
2.4.		0,80	0,90	0,29	0,52
3.1.a	Stromstärke / Spannung	0,39	0,66	0,29	0,50
3.1.b		0,50	0,60	Keine Angabe	0,54
3.1.c		0,64	0,53	Keine Angabe	Keine Angabe
3.2.		0,16	0,18	0,11	0,17
4.0	Stromverbrauch	0,71	0,91	0,84	0,84
5.0	Stromverbrauch	0,47	0,66	0,20	0,38
6.0.	Lokales Denken	0,50	0,60	0,09	0,18
7.0.	Seq. Denken	0,26	0,39	0,12	0,33
8.1.	Spannungsmessungen	0,24	0,36	0,43	0,19
8.2.		0,29	0,49	0,16	0,43
9.0.	Widerstände	0,29	0,28	0,16	0,22
10.1	Reih.- u.Par.-Sch.	0,64	0,67	Keine Angabe	0,08
10.2.	.	0,32	0,39	Keine Angabe	Keine Angabe
11.0	Reihen- u.Par.-Sch.	0,69	0,56	0,45	Keine Angabe
12.1	Geschlossener u. offener Schalter	0,35	0,36	0,20	Keine Angabe
12.2		0,29	0,50	0,17	Keine Angabe

Abbildung 15: Tabelle Lernerfolge im Vergleich: Anteil der korrekten Lösungen

Die Kurzbezeichnungen kennzeichnen Alltagsvorstellungen, die die Jugendlichen überwinden mussten, um zu richtigen Antworten der jeweils gestellten Fragen zu gelangen.

Die angeführte Wertetabelle gibt die Anteile der von den Schülerinnen und Schülern in den einzelnen Lerngruppen richtig gelösten Aufgaben des „Von Rhönecktestes“ an. So bedeutet die Angabe 0,61 beispielsweise, dass 61% der Beteiligten in einer Testgruppe die bezeichnete Aufgabe richtig beantwortet

haben. Diese in den einzelnen Zeilen angegebenen Werte sind auch geeignet, vergleichenderweise Aufschlüsse über das Leistungsvermögen der Schülerinnen und Schüler in den einzelnen Testgruppen zu geben.

Die zu Beginn des Forschungsprojektes in den Soltauer Klassen durchgeführte Befragung ergab, dass Grundkenntnisse in der elementaren Elektrizitäts- und Halbleiterlehre noch nicht vorhanden waren. Daraus lässt sich folgern, dass im Test nachgewiesenes Wissen dieser Schülerinnen und Schüler in großem Umfang aus dem im Projektunterricht erworbenen Wissen stammt.

Des Weiteren ist zu beachten, dass die angegebenen Daten der Testgruppe „Rhöneck 1988“ aus einer Vergleichsuntersuchung von Jugendlichen in mehreren europäischen Ländern stammen. Diese Werte stellen somit einen internationalen Leistungsvergleich dar.

5.4. Der χ^2 -Test

Auf den ersten Blick fällt auf, dass die Schülerinnen und Schüler der Experimentalgruppe in vielen Einzelaufgaben bessere Ergebnisse erzielten als die der Vergleichsgruppen. Um zu prüfen, ob diese Aussage auf der Ebene der Einzelitems haltbar ist, wurde der χ^2 -Test eingesetzt. (Sachs, 2009, S. 559). Als χ^2 -Test bezeichnet man in der mathematischen Wahrscheinlichkeitsrechnung unter anderen Hypothesentests mit χ^2 -verteilter Testprüfgröße auch den Homogenitätstest. Mittels dieses Testes wird geprüft, ob zwei Stichproben derselben Verteilung beziehungsweise einer homogenen Grundgesamtheit entstammen. In vorliegender Untersuchung erlaubt er also, eine Entscheidung zwischen den folgenden zwei Thesen zu treffen:

Nullhypothese H_0 : Die Ergebnisse zweier Daten-Gruppen unterscheiden sich nicht

Alternativhypothese H_1 : Die Ergebnisse beider Daten-Gruppen unterscheiden sich.

Eine Entscheidung über Annahme oder Ablehnung einer der beiden gegensätzlichen, sich ausschließenden Hypothesen kann dadurch getroffen werden, dass die aus den Daten errechneten χ^2 -Werte mit denjenigen verglichen werden, die bei einer rein zufälligen Verteilung nach der Nullhypothese zu erwarten wären. Übersteigen die χ^2 -Werte bestimmte Testwerte, kann die Nullhypothese abgelehnt werden. Die kritischen Werte lauten allgemein bei zweiwertigen Tests auf dem 10% Signifikanzniveau 2,706; auf dem 5% Niveau 3,841; auf dem 1% Niveau 6,615 und auf dem 0,1% Signifikanzniveau 10,828. (Sachs, 2009, Seite 559). Sie lassen sich bei Polynominalabweichungen gerade als das Quadrat der Abweichung eines realen Wertes vom Erwartungswert, gemessen in Vielfachen der zugehörigen Standardabweichung, bestimmen. (Strick, 2010, S. 100). Das Signifikanzniveau wird vielfach auch Irrtumswahrscheinlichkeit genannt.

Der Vergleich zweier einander entsprechender Testgrößen, also beispielsweise ein Wert aus Test „Soltau 1“ mit einem Wert aus „Rhöneck“, 1988, errechnet sich mit Hilfe einer Vierfeldertafel wie folgt: (siehe Abbildung 16)

Merkmale	Erreichte prozentuale Punktzahl	Nicht erreichte proz. Punktzahl	Zeilensumme
Werte der 1. Gruppe	a	b	a + b = n ₁
Werte der 2. Gruppe	c	d	c + d = n ₂
Spaltensumme	a + c	b + d	n ₁ + n ₂ = n

Abbildung 16: 4 Felder Darstellung

$$\chi^2 = \frac{n \cdot (a \cdot d - b \cdot c)^2}{(a + b) \cdot (c + d) \cdot (a + c) \cdot (b + d)}$$

Die folgende Tabelle (siehe Abbildung 17) zeigt die errechneten χ^2 -Werte aus den Daten des Soltau-1-Testes und denen des Rhöneck-1988-Testes für die einzelnen Testaufgaben der Befragung. Festzustellen ist, dass von siebzehn Items zehn höchst signifikante Werte aufweisen.

Aufgaben-Nr.	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.4	3.1.a.	3.1.b	3.2	4.0	5.0	6.0	7.0	8.1	8.2	9.0	10.1
χ^2 -Werte	21,4	37,66	33,34	3,4	89,4	24,9	3,6	21,68	0,05	22,98	2,47	35,79	1,72	1,118	34,57	1,95	110,78
Irrtums- Wahrscheinlk.	0,001	0,001	0,001	<0,1	0,001	0,001	<0,01	0,001	>0,1	0,001	>0,1	0,001	>0,1	>0,1	0,001	>0,1	0,001
Signifikanz	***	***	***		***	***		***		***		***			***		***

Abbildung 17: Auswertung des χ^2 - Tests

Legende zur Abbildung 17:

(kein Stern) nicht signifikant, Wahrscheinlichkeit $P > 0,05$;

* signifikant, Wahrscheinlichkeit $P < 0,05$;

** hoch signifikant, Wahrscheinlichkeit $P < 0,01$;

*** höchst signifikant, Wahrscheinlichkeit $P < 0,001$

Darstellung der Ergebnisse aus Abbildung 17 in Form eines Histogrammes: (siehe Abbildung 18)

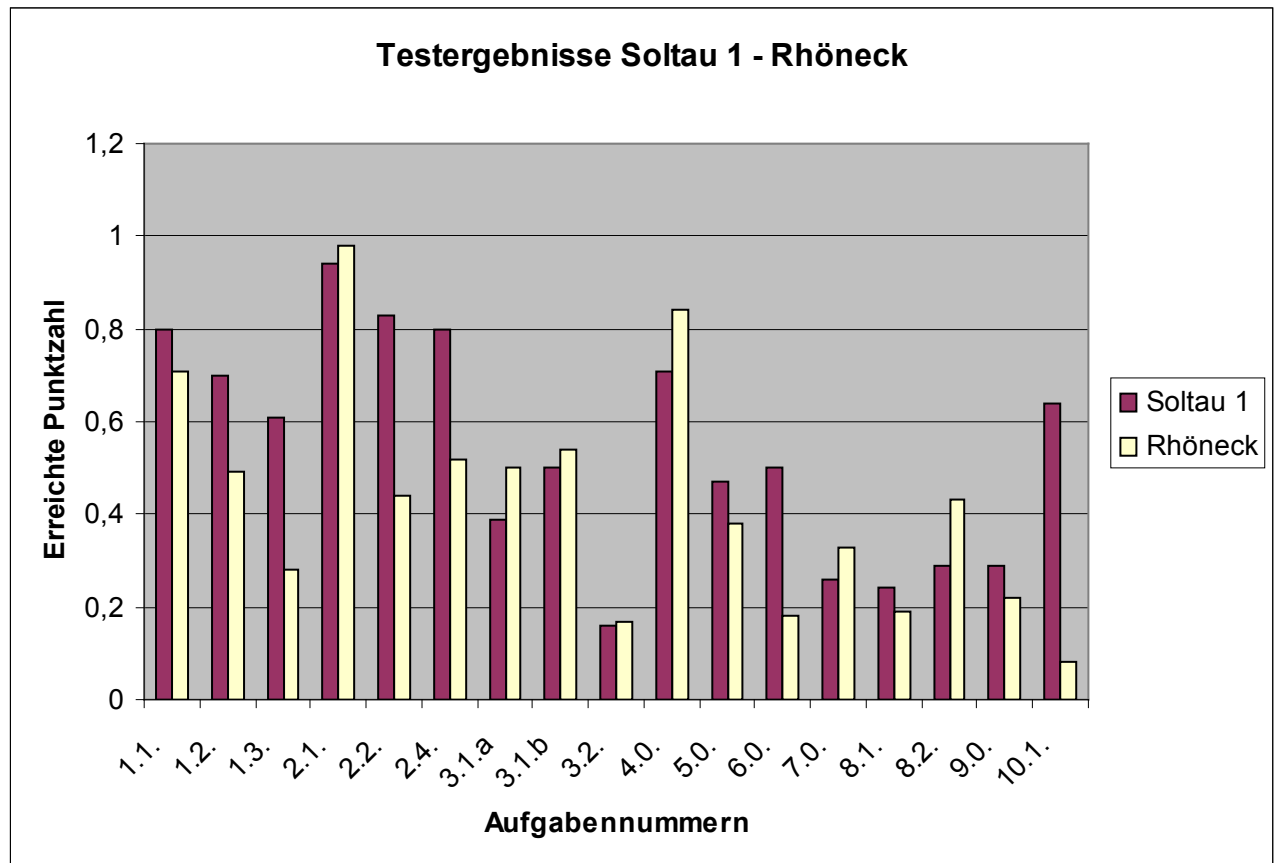


Abbildung 18: Histogramm der Testergebnisse Soltau 1 - Rhöneck

Das Testergebnis mit 10 „höchst signifikanten“ Ergebnissen unter 17 Wertepaaren zu Gunsten der Soltauer Jugendlichen bedeutet zunächst, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit die Nullhypothese H_0 zu Gunsten der Alternativhypothese H_1 abgelehnt werden muss. Die Wahrscheinlichkeit der Aussage, dass die Soltauer Schüler nur aufgrund zufälliger Schwankungen besser abschnitten als die von Rhöneck (1988) getesteten, beträgt bei den höchst signifikanten Items 0,1%. Dieses Ergebnis kann durch einen weiteren Test, dem Wilcoxon-Test, der eine Gesamtaussage über beide Datenmengen insgesamt ermöglicht, weiter geprüft werden.

5.5. Der Wilcoxon-Paardifferenzen-Test

Mit dem Wilcoxon-Paardifferenzen-Test können die Testergebnisse zweier Gruppen nicht nur auf dem Niveau der Einzelitems, sondern des Gesamttestes verglichen werden. Es handelt sich um einen nicht-

parametrischen Test, der für gepaarte Items testet, ob die Rangdifferenzen symmetrisch um den Median Null verteilt sind. In welcher Weise die einzelnen Werte angeordnet sind, findet keine besondere Beachtung. Ist die Verteilung um den Median symmetrisch, die Summe der Differenzen um diesen gleich Null, dann gilt die Nullhypothese H_0 .

Die Alternativhypothese H_1 trifft zu, wenn dieser Wert ungleich Null ist, eine Symmetrie der Differenzwerte um den Median nicht vorliegt. Es gilt also:

Nullhypothese H_0 : die Verteilung der festgestellten Paarwerte einer Untersuchungsreihe entspricht gleichermaßen der Verteilung entsprechender Werte der zweiten Versuchsreihe,

Alternativhypothese H_1 : die festgestellten Paarwerte beider Reihen einer Untersuchung unterscheiden sich.

In welcher Weise eine Auswertung von Daten durchgeführt werden kann, wird an Hand der folgenden Tabelle deutlich:

Vergleich und Auswertung der Testergebnisse des „Soltau 1“-Testes mit denen des von Rhöneck-Testes“ mittels des Wilcoxon-Paardifferenzentestes: (siehe Abbildung 19)

Nr.	Test 1-Soltau 2010	Test v. Rhöneck 1988	Differenzen	Ränge
1,1	0,8	0,71	+0,09	5,5
1,2	0,7	0,49	+0,21	10
1.3.	0,61	0,28	+0,33	13
2.1.	0,94	0,98	- 0,04	2,5
2.2.	0,83	0,44	+0,39	14
2.4.	0,80	0,52	+0,28	11
3.1.a	0,39	0,50	-1,1	7
3.1.b	0,50	0,54	-0,04	2,5
3.2.	0,16	0,17	-0,01	1
4.0	0,71	0,84	-0,13	8
2.1.	0,94	0,98	- 0,04	2,5
2.2.	0,83	0,44	+0,39	14
2.4.	0,80	0,52	+0,28	11
3.1.a	0,39	0,50	-1,1	7
3.1.b	0,50	0,54	-0,04	2,5
3.2.	0,16	0,17	-0,01	1
4.0	0,71	0,84	-0,13	8
5.0.	0,47	0,38	+0,09	5,5
6.0.	0,50	0,18	+0,32	12
7,0.	0,26	0,33	-0,07	--
8.1.	0,24	0,19	+0,05	4
8.2.	0,29	0,43	-0,14	9
9.0.	0,29	0,22	+0,07	--
10.1.	0,64	0,08	+0,56	15

Abbildung 19: Wilcoxon-Paardifferenzen-Test: „Soltau 1“ – „Von Rhöneck“

Auswertung:

Nach Ermittlung der Differenzbeträge und ihrer Vorzeichen, bezogen auf die Soltauer Testwerte, galt es, ihre absoluten Beträge zu bilden und diese aufsteigend Rangzahlen zuzuordnen. (Gleichen Beträgen wurde ein durchschnittlicher Rangwert zu geordnet). Anschließend wurden die Summen sowohl der den positiven wie auch die der den negativen Differenzen zugeordneten Rangzahlen gebildet:

Negative Rangzahlen R_n : $2+3+7+1+8+9 = 30$

Positive Rangzahlen R_p : $5+6+10+13+14+11+12+4+15 = 90$

Summe der Rangzahlen: $R_n + R_p = \underline{120}$

Kontrolle der Rangzahlen durch Multiplikation:

$$\begin{aligned} R_n + R_p &= \frac{n(n+1)}{2} \\ &= \frac{15 \cdot 16}{2} \\ &= 120 \end{aligned}$$

und Feststellung ihrer Übereinstimmung.

Prüfgröße für die Testentscheidung ist die kleinere beider Rangsummen. Ist diese laut Sachs (2009, Seite 464) kleiner oder gleich dem kritischen Wert der Prüftabelle, ist die Nullhypothese zu verwerfen. Im gegenteiligen Fall gilt die Alternativhypothese.

Die Tabelle für kritische Werte im Wilcoxon-Paardifferenzen-Test (Sachs, 2009, Seite 466) nennt für die Anzahl der Paarzahl $n = 15$ den Wert 25 bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit, 15 bei 1%iger Irrtumswahrscheinlichkeit und 6 bei 0,1%iger Irrtumswahrscheinlichkeit.

Der errechnete und kleinere Wert $R_n = 30$ ist im vorliegenden Fall größer als die angegebenen. Damit kann die Nullhypothese H_0 bei 5%iger Irrtumswahrscheinlichkeit nicht verworfen werden.

Daraus folgt des Weiteren, die im Test nachgewiesenen Leistungen der Soltauer Realschüler sind denen der international gewonnenen von Gymnasiasten ebenbürtig, aber nicht besser.

Der folgenden Tabelle (siehe Abbildung 20) lassen sich weitere Vergleichsergebnisse entnehmen:

Testgruppen	Entscheidungen	Signifikanzkriterium (Irrtumswahrscheinlichkeit)
Rhöneck 1988 - Soltau 2	Nullhypothese ablehnen	0,05 (5 %)
Starauschk - Soltau 1	Nullhypothese ablehnen	0,05 (5 %)
Starauschk - Soltau 2	Nullhypothese ablehnen	0,05 (5%)
KPK10 (Karlsruher Test) – Soltau 1	Nullhypothese ablehnen	0,05 (5%)

Abbildung 20: Hypothesenvergleich

In allen aufgezeigten Fällen bedeutet Ablehnung der Nullhypothese H_0 natürlich eine Anerkennung der Alternativhypothese H_1 bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%.

Daraus lässt sich folgern: In allen aufgeführten Vergleichen mittels des Rhönecktestes sind die Soltauer Testergebnisse besser als die Vergleichswerte ausgefallen.

5.6. Ein prozentualer Vergleich der Testergebnisse

Nachdem die Signifikanz der Unterschiede im Wissenstest festgestellt wurde, ist abschließend die Überprüfung interessant, um wieviel Prozentpunkte die Mediane der einzelnen Tests und damit die Wissenserwerbe der jeweiligen Schülerinnen und Schüler sich voneinander unterscheiden. Die folgende Abbildung 21 gibt darüber Auskunft.

Um auch den Wissenszuwachs der Soltauer Schülerinnen und Schüler im Verlaufe des Projektes zu erfahren, ist der Vergleich der Testergebnisse „Soltau 1“ mit „Soltau 2“ von Interesse. Auf der Grundlage der ermittelten Medianwerte (siehe Abbildung 21) entstand folgendes Balkendiagramm: (siehe Abbildung 22)

Testgruppen	Medianwerte-Prozentsatz der richtig beantworteten Items	Differenzen
Soltau 1 - Rhöneck (1988)	48,5 %	+ 8,0 %
	40,5 %	
Soltau 2 - Starauschk (2001)	58 %	+29 %
	29 %	
Soltau 2 - Rhöneck (1988)	58 %	+17,5 %
	40,5 %	
Soltau 1 - Starauschk (2001)	48,5 %	+19,5 %
	29 %	

Abbildung 21: Vergleiche der Medianwerte in den Tests

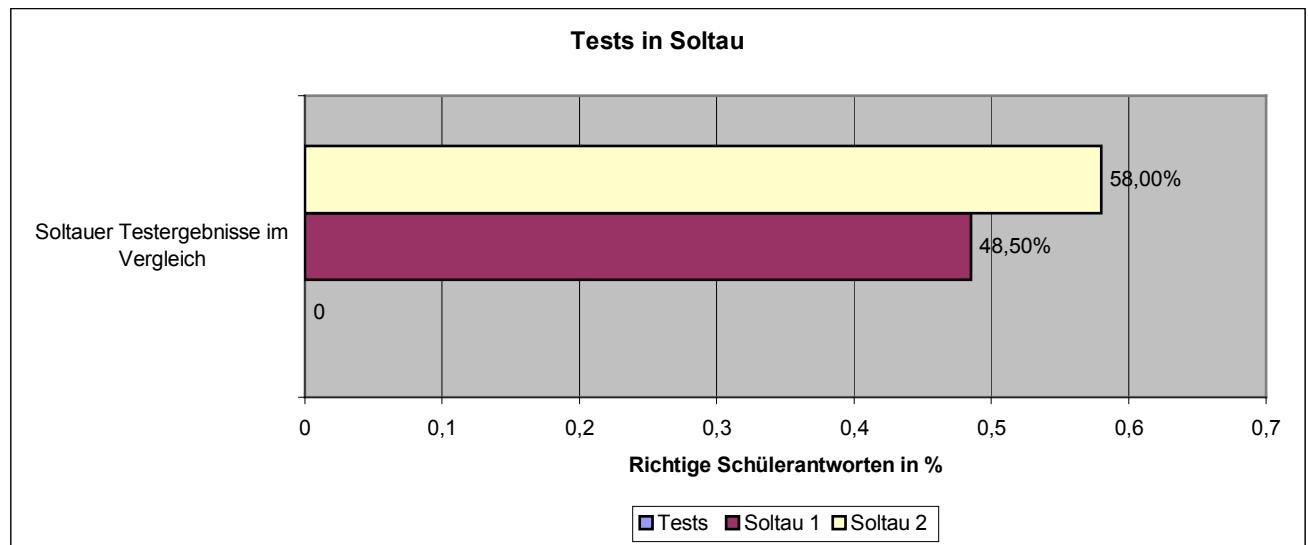


Abbildung 22: Ergebnisse der beiden Soltau Tests im Vergleich

Das Ergebnis stützt die Vermutung, dass im Folgeunterricht im Anschluss an den Rhönecktest, in dem insbesondere elementare Funktionen von Halbleiterbauelementen von den Schüler und Schülerinnen experimentell unter Einsatz der eingangs beschriebenen Arbeitsplatten erkundet wurden, der Wissenserwerb insgesamt beachtlich, um durchschnittlich noch einmal 9,5% gesteigert wurde.

5.7. Ein ergänzender Vergleich mit Daten aus der Untersuchung S. Späths

Auf der Suche nach weiteren Vergleichsmöglichkeiten der Soltau Schülerleistungen mit anderen bietet sich, sehr eingeschränkt, die Untersuchung von S. Späth im Jahr 2009 an. Anliegen dieser Untersuchung war, zusammengefasst, den Wissenszuwachs von Schülerinnen und Schülern in 16 siebten Gymnasialklassen Bayerns beim Erlernen von Grundkenntnissen in der Elektrizitätslehre mittels unterschiedlicher Unterrichtskonzepte festzustellen und mit traditionell gewonnenen zu vergleichen..

Das zu untersuchende Unterrichtskonzept folgte, so S. Späth, dem Potentialansatz nach Herrmann und der Gravitationsanalogie nach Rhöneck. (Späth, 2009, Seite 4).

So wie die Soltau Jugendlichen verfügten die bayrischen über keine Vorkenntnisse. Aufgeteilt in drei Gruppen, wurden zwei Blöcke in einer mehr an den Schülervorstellungen orientierten Weise und ein Kontrollblock in traditioneller Unterrichtsform von verschiedenen Lehrern unterrichtet.

Zur Feststellung des Wissenserwerbes aller Beteiligten wurden auch aus dem von Rhönecktest schließlich den Schülerinnen und Schülern die Fragen der Aufgaben: 1, 2, 3, 4, 6, 7 und 11 zur Beantwortung vorgelegt.

Wenn auch der Altersunterschied zwischen Siebt- und Neuntklässlern einer Wertung sicherlich erhebliche Aussagegrenzen setzt, so kann doch ein sehr grober Datenvergleich, der für die vorliegende Untersuchung

von Bedeutung ist, in einem ersten Schritt aufschlussreich sein. Die folgende Tabelle (siehe Abbildung 23) vermittelt, eingeschränkt, Daten erreichter Lern-Leistungen in beiden Gruppen:

Item	Prozentualer Anteil der richtigen Antworten imVortest in Bayern	Prozentualer Anteil der richtigen Antworten im Nachtest in Bayern	Prozentualer Anteil der richtigen Antworten im Test 1 in Soltau
1	54,0%	74,5%	80%
2	23,85%	49,4%	70%
3	5,9%	36,3%	61%
4	60,4%	98,0%	94%
5	85,9%	23,9%	83%
6	9,3%	38,9%	68,0%
7	15,9%	21,6%	80,0%
8	8,4%	37%	39%
9	29,5%	26,2%	50%
10	26,4%	58,2%	64%
11	22,7%	14,5%	16%
12	6,4%	71,4%	71,0%
13	3,1%	20,0%	-
14	0,4%	26,1%	-
15	16,7%	55,3%	50%
16	1,8%	48,1%	26%
17	0,4%	26,1%	-
18	8,8%	51%	-
19	7,3%	42,3%	69%
20	5,1%	32,4%	-

Abbildung 23: Daten erreichter Lernleistungen in beiden Gruppen

Die Daten der vorletzten und die der letzten Spalte obiger Tabelle spiegeln für die angegebenen Teilaufgaben des Rhöneck-Testes die Stände der Wissenserwerbungen im Unterricht in Soltau und in Bayern. In den Zeilen 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 19 liegen die Soltauer Werte höher als die bayrischen, fast gleich sind sie in den Zeilen 4, 8, 10, 11 12 15 und niedriger in der Zeile 16.

Der Vermerk Späths: „Die Aufgaben waren tendenziell zu schwer,“ (Späth, 2009, Seite 66), lässt einen weiteren Vergleich der Daten, etwa mittels des Wilcoxon-Testes, fairerweise als nicht sinnvoll erscheinen, zumal der zweite Soltauer Test einen beachtlichen Lernzuwachs gegenüber dem Test 1 zeitigte.

Abschließend kann als Ergebnis dieses Testes festgestellt werden: Es gibt keinen Grund, die in Soltau geübte Unterrichtsform nicht weiterhin zu verfolgen und im Bedarfsfall auch auszubauen.

5.8. Zusammenfassung bisheriger Untersuchungsergebnisse im Soltauer Forschungsprojekt

Den Lern- und Lehreffekt im naturwissenschaftlichen Unterricht zu steigern, heißt vor allen Dingen, die eigenen Kräfte der Jugendlichen, lernen und verstehen zu wollen, zu stärken. Gerade junge Menschen in einer technisch geprägten Welt schon frühzeitig zur Auseinandersetzung mit physikalischen Sachverhalten und technischen Abläufen anzuregen und zu stützen, ist daher auch eine Anforderung insbesondere an den Physikunterricht.

Ergebnisse vieler Fachdidaktiker in der älteren und insbesondere in der neueren naturwissenschaftlich-didaktischen Unterrichtsforschung, aber auch eigene, mehrjährige Beobachtungen und Erfahrungen im Physikunterricht, zeigen immer wieder an, dass vorbereitete und zielgerichtete Schülerversuche im Erkenntnisprozess eine besondere, motivierende Rolle spielen. Ihre Vorbereitung und ihr Einsatz im Unterricht im Hinblick auf zu erarbeitende neue Inhalte und auch auf die Steigerung der Leistungsfähigkeit der Lernenden erfordern aus diesem Grunde eine besondere Beachtung.

Ein erfolgreicher Physikunterricht sollte klar strukturiert sein, sich auf Beobachtungen und Fragestellungen aus dem näheren und auch fernerem Erfahrungsbereich der Kinder und Jugendlichen gründen, manuelles, realitätsbezogenes und geführtes Experimentieren mit angemessenen Freiräumen zum Erkennen und Verstehen anbieten und auch genügend Möglichkeiten zur Klärung von Unverstandenem einräumen. Schülerinnen und Schüler spüren in der Regel sehr schnell, ob ihnen der erlebte Physikunterricht Hilfen in ihrem eigenen Natur- und Technikverständnis bietet und richten ihr Arbeitsverhalten entsprechend darauf ein.

In der Fortsetzung der vorliegend beschriebenen Untersuchung in Soltau ist es zum tieferen Verständnis der gesamten Unterrichtseinheit „Einführung in die elementare Elektrizitäts- und Halbleiterlehre“ vorteilhaft, weitere unterrichtliche Beobachtungen und Unterrichtserfahrungen darzustellen. Es gilt, noch weitere Untersuchungsergebnisse in der Vermittlung von Kenntnissen zur Elektrizitäts- und zur Halbleiterlehre, auch mit noch nicht genauer beschriebenen Arbeitsplatinen, auszuwerten. Zudem wird die Frage zu beantworten sein, in welchem Umfang im Anschluss an manuelles Tun auch theoretischen Einlassungen im Unterricht zur Erleichterung und Festigung des Verständnisses Raum gegeben werden sollte.

Die Bewertung der Unterrichtsgestaltung aus der Sicht der Schüler und Schülerinnen, insbesondere die Arbeit mit den Arbeitsplatinen, bedarf ebenso noch einer besonderen Beachtung. Eine ausführlichere Darstellung bleibt daher der folgenden Erarbeitung vorbehalten.

6. Grundkenntnisse in der elementaren Halbleiterlehre Jugendlichen in einer an die elementare Elektrizitätslehre anschließenden Unterrichtseinheit vermitteln

6.1. Die Halbleiter in ihrer Bedeutung und Wirkungsweise in der technischen Welt darstellen

Gleichrichterioden, Leuchtdioden, licht- und temperaturabhängige Widerstände, ohmsche Widerstände, Transistoren und schließlich voltaische Solarzellen sind elementare halbleiterische Bauelemente, die in vielen Geräten und Vorrichtungen unserer technischen Umwelt eingesetzt werden. Sie vollziehen in diesen unterschiedlichsten Funktionen und befähigen Menschen mit so bestückten Geräten und Vorrichtungen zu außerordentlichen Diensten und Handlungen im Haushalt, am Arbeitsplatz, im Verkehr und schließlich in der Freizeit. Erst ihr Einsatz ermöglichte außerordentliche Erfolge im gesamten technischen Bereich, in der Industrie, insbesondere aber in der Raumfahrt, in der Medizin, im handwerklichen Bereich, in der Verwaltung, um nur auf einige Beispiele hinzuweisen.

Schüler und Schülerinnen wissen insbesondere den Taschenrechner in der Schule, das Handy und den Computer im privaten Bereich zu schätzen. Die Leistungsfähigkeit dieser Geräte, die geringe Größe ihrer Bauteile, deren Zuverlässigkeit und kostengünstige Herstellbarkeit in großer Stückzahl bedingen insgesamt eine vielseitige Einsetzbarkeit. Es ist daher nur natürlich, dass viele junge Menschen, über den bloßen äußeren Anblick hinaus, mehr über die Funktionen dieser Geräte und deren Schaltelemente wissen möchten. In diesem Bestreben sollte der Physikunterricht in den Schulen sie unterstützen.

Die Wirkungsweise von Halbleitern zu verstehen, das heißt zunächst für Lernende, sich ein Bild vom Aufbau der Materie und den Atomen zu machen. Das bohrsche Atommodell unterstützt im Physikunterricht in der Sekundarstufe 1 und natürlich auch in der Realschule die Schaffung eines recht anschaulichen und übersichtlichen 'Bildes' vom Aufbau der Materie. Danach bilden den Kern eines Atomes, vereinfachend dargestellt, elektrisch positiv geladene Protonen und elektrisch neutrale Neutronen mit etwa gleicher Masse. Um diesen Kern herum bewegen sich auf Kreisen beziehungsweise Ellipsen mit unterschiedlich großen Radien elektrisch negativ geladene Elektronen, deren Massen im Vergleich zu denen der Protonen etwa 1836 mal kleiner sind. Schon einfache Reibungsversuche im Unterricht mit wenigen Materialien wie einem Kunststoffstab, einem Wolllappen, einem drehbaren Glasstab, einem Ledertuch, einer Glimmlampe und einem Elektroskop vermitteln Schülerinnen und Schülern 9./10. Klassen die Einsichten, dass:

1. Körper elektrisch neutral, positiv beziehungsweise negativ geladen werden können,
2. gleiche Ladungen sich abstoßen, gegensätzliche aufeinander anziehend wirken,
3. Ungleiche Ladungen, verbunden durch eine Metallleitung, sich ausgleichen.

Ergänzend lässt sich im Unterricht mit relativ einfachen Mitteln, einer Petrischale, Rizinusöl, Grießkörnern, Metallelektroden und einer Hochspannungsquelle, Lernenden überzeugend in Demonstration der Aufbau von elektrischen Feldern im umgebenden Raum von Ladungen darstellen. Schließlich demonstriert eine leichte Metallkugel, die sich zwischen elektrisch unterschiedlich geladenen Platten hin und her bewegt, das Wirken von Kräften und den Abbau von elektrischen Ladungen.

Auf diese Weise gewonnene Einsichten erleichtern Jugendlichen ein erstes Verstehen des Atomaufbaues und der in ihnen wirkenden Kräfte.

Die Theorie der Halbleitertechnik stellt einen Teilbereich der allgemeinen Elektrizitätslehre dar. Sie beschreibt zum Beispiel elektrisch bedingte Funktionsabläufe in Dioden und in Transistoren, deren Trägersubstanz in heutiger Zeit vornehmlich aus dem vierwertigen Silizium in außerordentlich hohem Reinheitsgrad hergestellt wird.

In technisch sehr aufwändiger Weise werden gezielt Verunreinigungen mit drei- beziehungsweise fünfwertigen Elementen herbeigeführt. Diese schaffen neue Eigenschaften, die in Dioden bei besonderer Polung der angelegten elektrischen Spannung einen Stromfluss beziehungsweise eine Stromsperre herbeiführen. Transistoren sind dank besonderer Anordnung gezielt verunreinigter Halbleitermaterialien in der Lage, mittels schwacher Stromstärken stärkere Ströme ein- und auszuschalten beziehungsweise größere Stromverstärkungen zu bewirken.

Des Weiteren verändern spezielle Halbleiterwerkstoffe ihren inneren elektrischen Widerstand infolge von außen einwirkenden Zustandsänderungen. Cadmiumsulfid beispielsweise verringert seinen elektrischen Widerstand bei stärkerer Lichteinstrahlung, Siliziumcarbid bei Temperaturerhöhung. (Tkotz, 2003, S. 138).

Zudem emittieren bei angelegter elektrischer Spannung verschiedene Halbleiter-Werkstoffe unterschiedlich farbiges Licht. Galliumarsenphosphid sendet beispielsweise rotes Licht aus, Indiumgalliumnitrid blaues Licht. (Tkotz, 2003, Seite 158).

Nicht unerwähnt bleiben dürfen in der großen Anzahl der mit Halbleitern bestückten Vorrichtungen schließlich die Solarzellen. Zusammengefügte, unterschiedlich dotierte, dünne n- und dickere p-Siliziumschichten vermögen dank der Entstehung eines elektrischen Feldes durch Sonnenlicht gebildete unterschiedliche Ladungsträger zu trennen und so eine elektrische Spannungsquelle aufzubauen. (Tkotz, 2003, Seite 160).

Funktionsabläufe im Inneren von Halbleitern sind nicht sichtbar. Sie Lernenden im Unterricht dennoch verständlich zu machen, das gelingt nur auf indirektem Wege. Aus Feststellungen äußerlich wahrnehmbarer Wirkungen müssen sie erschlossen werden. Mit Schülerinnen und Schülern sie im Physikunterricht zu erkunden und auf diese Weise tiefere Einsichten zu gewinnen, bedarf daher besonderer Überlegungen und intensiver Vorbereitungen.

Theoretische Darlegungen durch den Lehrer oder auch durch Schülervorträge werden als „Buchwissen“ kaum besonderes Interesse wecken und zu nachhaltiger Wissensvermittlung beitragen können. Vielmehr muss es gelingen, Schüler und Schülerinnen auch durch eigenes Tun dahin gehend anzuspornen, selbst Antworten auf gestellte Fragen finden zu lassen. Gerade Schülerversuche bieten sich bei diesem Vorhaben daher als optimale Unterrichtsform an. In direkter Begegnung werden die Jugendlichen auf diese Weise Halbleiter und deren Funktionen erleben.

6.2. Halbleiterische Grundkenntnisse in Versuchen mit vorbereiteten Arbeitsplatten erwerben

Unterrichtseinheit 1:

Im Folgenden wird zunächst eine in der Soltauer Realschule durchgeführte Unterrichtseinheit beschrieben, mittels der ein Übergang von der elementaren Elektrizitätslehre in die Halbleitertechnik vollzogen wurde. Der Arbeitsauftrag im Unterrichtseinstieg für alle sechs Schülerarbeitsgruppen in den jeweiligen fünf Klassen lautete:

Der Widerstandswert R der Glühlampen (3,8 Volt/0,07 A), die auf den schon bekannten ersten Arbeitsplatten befestigt sind, ist bei unterschiedlich großen, von außen angelegten Spannungen U zu bestimmen. Auch im nicht leuchtenden Zustand ist der Widerstandswert R unter Einsatz des schon bekannten Ohmmeters zu ermitteln. Der zur Beantwortung der Fragen aufzubauende Schaltplan (siehe Abbildung 24) ist vor der Versuchsausführung selbst von den Schülern und Schülerinnen zu entwickeln und dann zu verwenden. Abschließend sollen die Gruppen eine Wertetabelle (siehe Abbildung 25) und auch einen Graphen (siehe Abbildung 26) zu erstellen. Wie lässt sich auch ohne Versuchsdurchführung der Widerstandswert bei voller Lichtabgabe erkunden?

Ergebnisse der Schülerversuche:

Aus der Vielzahl der Versuche in den fünf Klassen wird hier ein Gruppenergebnis dargestellt. Die in *Abbildung 24* angegebene Schaltung wurde von einer Gruppe aufgebaut:

Schaltplan:

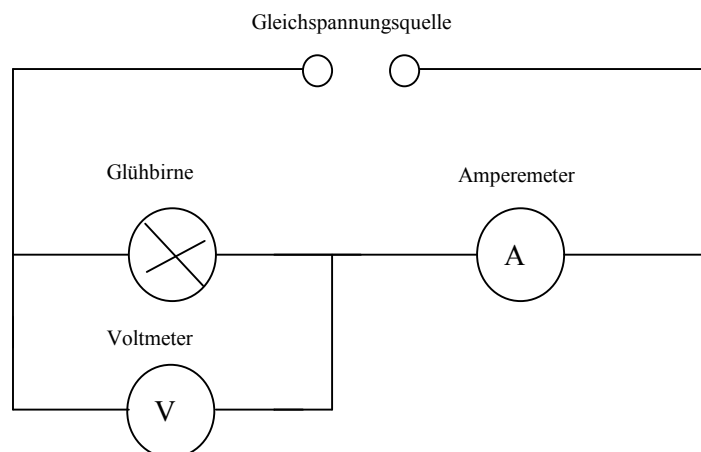


Abbildung 24: Gruppenergebnis: Schülerarbeit der Unterrichtseinheit 1

Wertetabelle:

Nr	U in Volt	I in mA	R in Ω
1	0,01	2,8	3,57
2	0,5	24,8	20,16
3	1,01	34,4	29,36
4	1,55	42,1	36,81
5	2,04	49,1	41,54
6	2,62	56,3	46,53
7	2,99	60,5	49,0

Abbildung 25: Wertetabelle der Gruppenarbeit

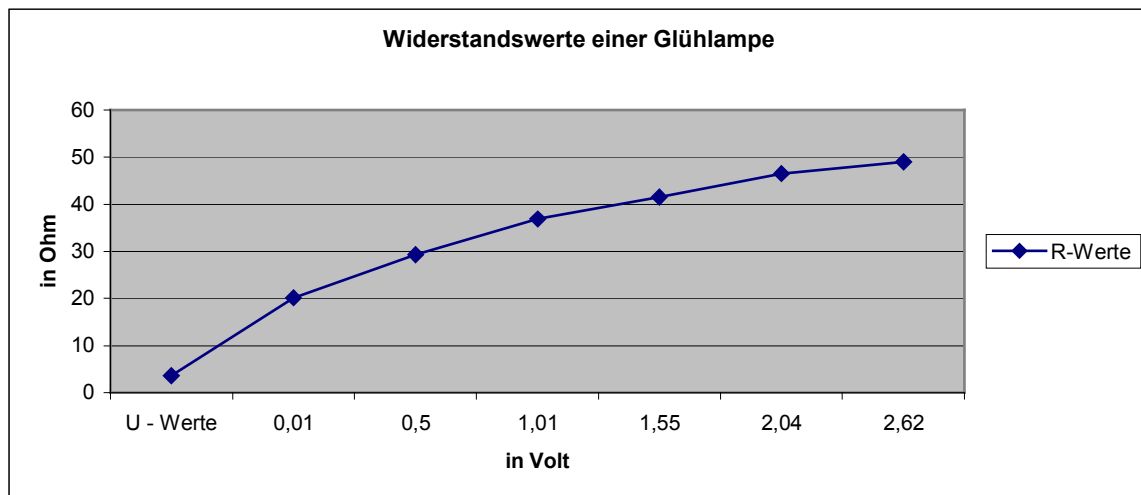
Kurvendarstellung:

Abbildung 26: Widerstandswerte einer Glühlampe

Merksatz:

Der Widerstandswert R des Glühfadens einer Lampe steigt mit zunehmender Spannung an und strebt einem Grenzwert zu. Auch erwärmt sich der Glühdraht fühlbar stärker.

Rechnerische Widerstandsbestimmung: Es gilt nach dem Ohmschen Gesetz:

$$\text{Spannung} : \text{Stromstärke} = \text{Widerstand}$$

Aus der Lampenangabe (3,8V/0,07A) folgt daher: $3,8 \text{ V} : 0,07 \text{ A} = 54,3 \Omega$.

Dieser Wert stimmt mit dem experimentell gefundenen Tabellenwert von 49Ω bei einer Spannung von 2,99 Volt nur angenähert überein, lässt sich aber mit dem Spannungsunterschied recht gut erklären. (Zur Vermeidung von Schäden und damit vermeidbaren Störungen im Unterrichtsverlauf ist es oft ratsam, Schaltelemente in Schülerversuchen nicht bis zum Äußersten zu belasten).

Merksatz:

Je heißer der Glühdraht einer Lampe, desto größer ist sein elektrischer Widerstandswert R.

Erklärung des Versuchsergebnisses:

Der Versuch einer Erklärung der festgestellten Abläufe erfolgte abschließend im Klassengespräch, etwa wie folgt:

„Die Wolfram- und Osmium-Atome im Glühfaden der Lampen schwingen entsprechend ihrer Umgebungstemperatur um ihren Ort im Metallverband. Leitende, sich bewegende Elektronen werden durch diese Bewegungen in ihrem Fluss in Richtung auf den Pluspol entsprechend der Schwingungsweite der Atome unterschiedlich behindert. Daraus folgt: Bei höheren Temperaturen werden die Elektronen stärker behindert als bei niedrigeren. Bei höheren Temperaturen ist der elektrische Widerstand R daher größer.“

Darstellung von weiteren, erarbeiteten Unterrichtseinheiten:

Im Folgenden werden weitere Unterrichtseinheiten zur elementaren Halbleiterlehre beschrieben, die aus Zeitmangel nicht mehr in allen neunten Soltauer Realschulklassen im Anschluss an die Erarbeitung der elementaren Elektrizitätslehre erteilt werden konnten. Der Zeitraum eines Halbjahres ist für die Vermittlung von Kenntnissen in der elementaren Elektrizitäts- und in der Halbleiterphysik relativ kurz bemessen. Um jedoch aufzuzeigen, in welcher Weise die bereits eingangs als Fotos dargestellten Arbeitsplatinen im Unterricht zur Verständniserleichterung eingesetzt werden können, werden daher in einzelnen neunten Soltauer Klassen erprobte Unterrichtseinheiten dargestellt.

Die Unterrichtseinheit 2.1. Arbeitsplatine: LDR - Widerstände

Eröffnungsphase in einem Klassengespräch:

In vielen Städten werden Straßenbeleuchtungen automatisch ein- und ausgestellt. Wie lassen sich solche Ein- und Ausschaltvorgänge technisch, ohne menschlichen Eingriff bewerkstelligen?

Problemdarstellung: Unterschiedliche Helligkeitswerte müssen beachtet werden; unter den bisher den Schülern bekannten und untersuchten Schaltelementen änderte ein Drahtwiderstand aus Wolfram/Osmium bei Temperaturänderung seinen inneren Widerstand R ; der Blick auf die Arbeitsplatte zeigt zwei neue Aufbauelemente.

Lösungsvorschläge: Die neuen Widerstände auf den sechs Arbeitsplatten hinsichtlich ihrer besonderen Eigenschaften untersuchen

Versuchsvorbereitung und Versuchsausführung:

Zwei geschlossene Stromkreise nach Feststellung der vorgegebenen Teilschaltungen und deren Vollendung jeweils in sechs Schüler-Arbeitsgruppen herstellen und Wirkungen in der Stromstärke I bei Helligkeits- und Temperaturveränderungen mittels Taschenlampen und Eisbeuteln ermitteln.

Erkenntnisgewinnung:

1. Qualitative Erkenntnis: Der LDR reagiert auf Helligkeitsunterschiede, der NTC auf Temperaturunterschiede;
2. Quantitative Erkenntnis: Die Angaben der folgend aufgeführten Wertetabelle einer Soltau-Gruppe zeigen ermittelte Werte eines LDR-Widerstandes an:
3. Wertetabelle: (siehe Abbildung 27)

Helligkeit	Spannung U	Stromstärke I	Widerstand R
Raumhelligkeit am Morgen	1 Volt	1,73 mA	578,0 Ω
Absolute Dunkelheit (mittels umschließender Dose)	1 Volt	0,1 mA	10000 Ω
Beleuchtung mit einer Taschenlampe	1 Volt	34,0 mA	29,41 Ω

Abbildung 27: Werte des LDR-Versuches

Versuchsergebnis:

Merksatz: Je dunkler, desto größer der Widerstand R eines LDR; je heller, desto geringer der Widerstand R eines LDR.

4. Erklärung des Versuchsergebnisses im Klassengespräch:

Licht vermag gebundene Elektronen in den Molekülen des lichtabhängigen Widerstandes, beispielsweise Cadmiumsulfid, zu lösen, die dann für eine erhöhte Leitfähigkeit des Elektronenstromes I zur Verfügung stehen. Damit ist angezeigt, dass Licht auch eine energetische Eigenschaft hat.

Unterrichtseinheit 2.2. Arbeitsplatte: NTC - Widerstände

In entsprechender Vorgehensweise, wie sie für den LDR aufgezeigt wurde, konnten im Physikunterricht die Eigenschaften eines temperaturempfindlichen Widerstandes - NTC genannt - nachgewiesen werden. Eine Arbeitsgruppe ermittelte die folgenden Widerstandswerte R : (siehe Abbildung 28)

Temperatur	Spannung U	Stromstärke I	Widerstand R
Kälterer Zustand, Eisbeutel.	1,0 Volt	5,01 mA	199,9 Ω
Wärmerer Zustand, Körperwärme	0,94 Volt	6,26 mA	150,16 Ω

Abbildung 28: Arbeitsplatte NTC-Widerstände, Arbeitsergebnisse

Während der Versuchsausführungen wurde ergänzend festgestellt, dass es mindestens zwei unterschiedliche NTC-Arten gibt:

- NTC-Widerstände, die durch den durchfließenden Strom I stark aufgeheizt werden und
- NTC-Widerstände, die fast nur durch die Außentemperatur ihren inneren Widerstandswert verändern.

NTC-Widerstände sind geeignet, in Räumen vorgegebene Temperaturen durch Steuerung von Thermostaten konstant zu halten oder auch Anstiege anzuzeigen.

Feststellung einer technischen Besonderheit:

In Soltau konnten Schülerinnen und Schüler einer Klasse zeigen, dass drei von sechs NTC-Widerständen der erst genannten Gruppe angehörten. Ab 2,2 Volt - 2,4 Volt setzte bei ihnen ein Selbstzerstörungsprozess durch Eigenerhitzung ein. Durch Stromkreisunterbrechung musste dieser Versuch beendet werden. Diese NTCs sollten daher in der Realität nur mit einer ganz geringen Spannung von etwa 0,5 Volt bis 1 Volt betrieben werden.

Die folgende Skizze (siehe Abbildung 29) fasst die von den Schülern und Schülerinnen einer neunten Realschulklasse in Soltau erarbeiteten Erkenntnisse insgesamt zusammen:

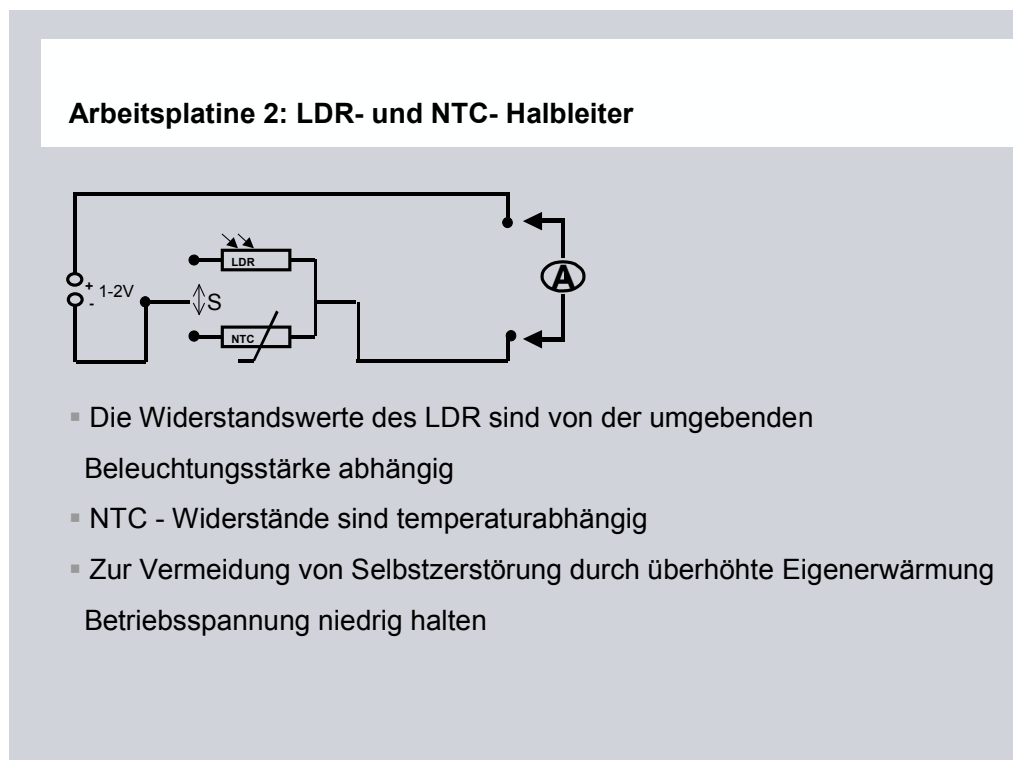


Abbildung 29: Versuchsergebnisse zu LDR- und NTC-Halbleitern

Unterrichtseinheit 3: Arbeitsplatte : Halbleiterdiode

Eröffnungsphase im Klassengespräch:

Halbleiterdioden übernehmen in einigen Geräten im Haushalt die Aufgabe, den Wechselstrom, Steckdosen entnommen, in Gleichstrom zu verwandeln. (Rundfunkgerät, Akkumulator-Ladegerät, CD-Player, Digital-Kamera, Computer). Es gilt in dieser Unterrichtsstunde zu ermitteln, welche Halbleiterfunktion die Diode auf der Arbeitsplatte bei diesem Vorgang ausführt.

Arbeitsphase 1: Auftrag an die Schüler und Schülerinnen:

Erkundung des in der folgenden Skizze dargestellten Schaltplanes und Anschluss der Messinstrumente und des Gleichstromversorgungsgerätes an die Anschlüsse auf der Arbeitsplatine:

Qualitative und quantitative Ergebnisfeststellung der Experimentierenden:

Die Lampe leuchtet, wenn der nicht durch einen weißen Ring gekennzeichnete Anschluss der Diode mit dem Pluspol der Spannungsquelle verbunden ist. Anderenfalls leuchtet sie nicht.

1. Folgerung: In Durchlassrichtung sperrt die Diode den Elektronenfluss bis etwa 0,44 Volt. Dieser Spannungswert heißt Schwellenspannung. Bei höheren Spannungswerten lässt die Diode den Elektronenstrom fließen.
2. Folgerung: Nach einer Umpolung sperrt die Diode den Stromfluss vollkommen, auch bei geringen Spannungen.

Arbeitsphase 2: Welche Beobachtungen können bei Einschaltung des 100 Ω -Widerstandes gemacht werden? (Schalter S umstellen)

Feststellung in Schülerversuchen:

Der erwartete Stromstärkewert von 5 Volt: $100 \Omega = 0,05 \text{ A}$ (Ohmsches Gesetz) bei Durchlass wird nicht angezeigt. Nur etwa 0,043 A zeigt das Ampéremeter an.

Erklärung im Klassengespräch: Der Blick auf das Voltmeter zeigt einen Spannungsabfall an der Diode von 0,7 Volt an. Subtrahiert man 0,7 Volt von 5 Volt gleich 4,3 Volt und ermittelt mit diesem Wert die Stromstärke, stimmen Rechnung und Ablesung überein. Der 100 Ω -Widerstand ermöglichte also die Feststellung, dass die Differenz der Stromstärkewerte mit dem Spannungsabfall an der Diode erklärt werden kann.

Arbeitsphase 3: Nach Umpolung fällt an der Diode eine Gesamtspannung von 5 Volt ab. Die Diode sperrt nun den Elektronenfluss vollkommen.

Ergebnissicherung durch eine Schaltskizze und durch einen Merksatz, etwa wie folgt:

Eine Halbleiterdiode vermag in Abhängigkeit von der Polung Elektronen fließen zu lassen beziehungsweise diese zu sperren.

Ergänzender Hinweis zur Schaltung:

Plus-Pol der äußeren Spannungsquelle verbunden mit dem Pluspol der Diode (Anode) und entsprechend der Minuspol der Spannungsquelle verbunden mit dem durch einen weißen Ring gekennzeichneten Anschluss der Diode (Kathode) bedeutet Durchlassrichtung. Bei einem Vertauschen der Anschlüsse erfolgt eine Stromsperrung.

Die folgend angeführte Skizze (siehe Abbildung 30) zeigt den vollendeten Schaltungsaufbau und weist auf wesentliche Diodeneigenschaften hin.

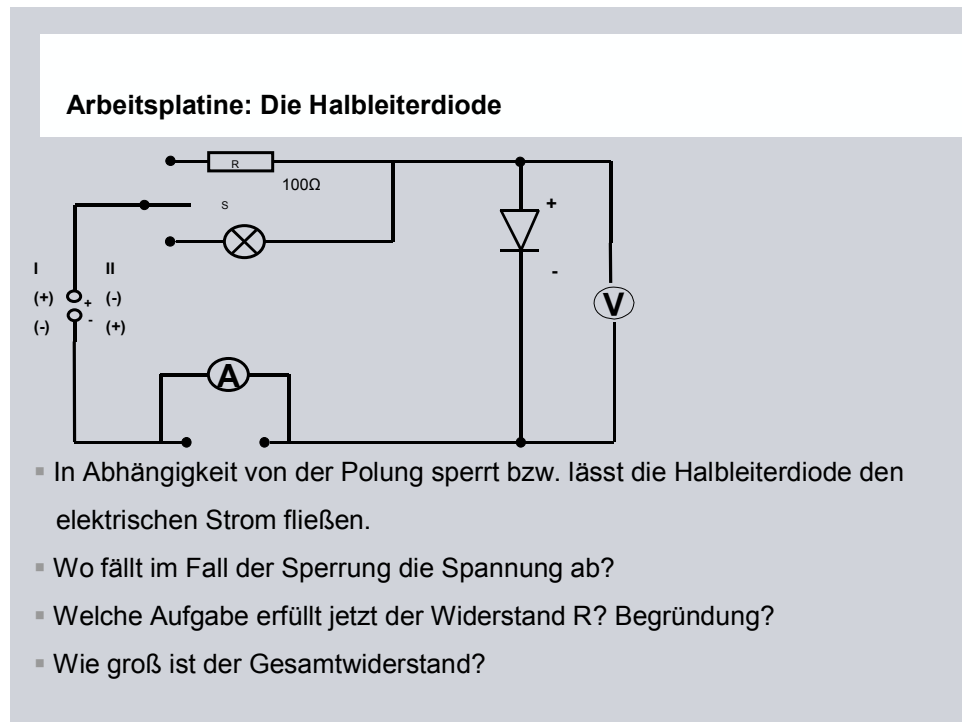


Abbildung 30: Dioden-Versuchsergebnisse

Unterrichtseinheit 4: Arbeitsplatte-Verstärkung durch Transistoren

(Die drei folgenden Unterrichtseinheiten, auch für das Soltau Forschungsjahr geplant, konnten aus Zeitgründen dort nicht mehr durchgeführt werden. Ihre vorab mit gleichaltrigen Schülerinnen und Schülern einer anderen Realschule erprobte Durchführung kann aber aufzeigen, in welcher Weise nach Vorstellung des Autors Transistoreigenschaften und deren Funktionen Jugendlichen überzeugend vermittelt werden können. Auf ihre Darstellung in dieser Arbeit als Teil der gesamten Unterrichtseinheit soll daher nicht verzichtet werden.)

Unterrichts-Eröffnungsphase-Lehrerhinweis:

Antennen für Rundfunkgeräte erfüllen die Aufgabe, schwache elektromagnetische Signale zu empfangen. Diese gilt es dann zu verstärken und letztlich hörbar zu machen. Verstärkerwirkungen können Transistoren übernehmen. Drei Zonen im Transistorinneren, Basis, Emitter und Kollektor genannt, weisen Kontakte nach außen auf. (siehe Abbildung 31)

Transistoranschlüsse eines bipolaren Transistors:

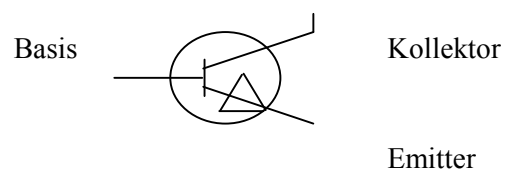


Abbildung 31: Ein „Bipolarer Transistor“

Arbeitsphase 1: Der Schaltplan der Arbeitsplatine ‚Verstärkerschaltung‘ (siehe Abbildung 32) ist zu erkunden und eine Schaltskizze zu erstellen. Die Transistoren sind durch typische Symbole, wie angegeben, gekennzeichnet. Die Anschlüsse führen besondere Bezeichnungen.

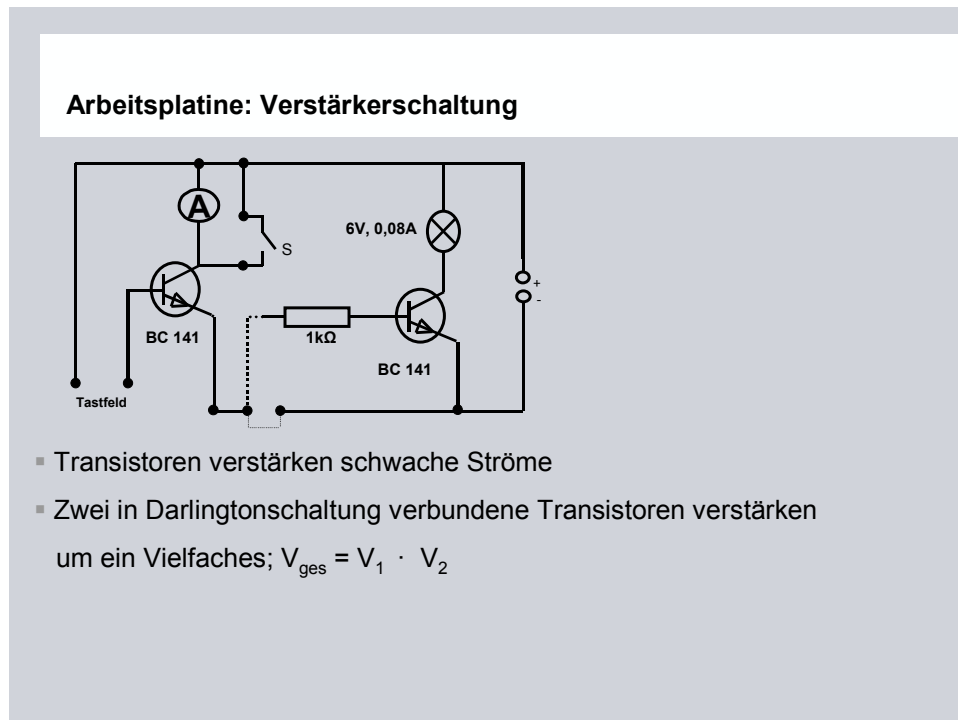


Abbildung 32: Verstärkerwirkungen von Transistoren

Arbeitsphase 2:

Ein mittlerer menschlicher Hautwiderstand, mit dem ein elektrischer Fingerkontakt zwischen den Drähten im Tastfeld hergestellt werden soll, ist zu ermitteln.

Messergebnisse der Arbeitsgruppen: Mittlerer Widerstand trockener Haut: 700 - 900 kΩ.

Mittlere Werte, mit dem Ohmmeter des multifunktionalen Messinstrumentes durch verschiedene Schüler gemessen, lagen etwa bei 800 kΩ. Daraus folgte, dass bei 5 Volt Speisespannung des Stromversorgungsgerätes etwa $5 \text{ V} : 800\,000 \, \Omega = 0,00\,000\,625 \text{ A} = 6,25 \, \mu\text{A}$ über die Fingerhaut bei Kontaktherstellung fließen würden. Diese galt es zunächst, mit dem linken Transistor zu verstärken. Bei geöffnetem Schalter S zeigten die Ampéremeter in den Gruppen im Schnitt etwa 1 mA an. Daraus folgte:

Verstärkung: $1\,000 \, \mu\text{A} : 6,25 \, \mu\text{A} = 160$; der Transistor 1 verstärkte folglich sehr schwache Ströme etwa um das 160 Fache.

Arbeitsphase 3: Nach der Verbindung des zweiten Transistors in Darlingtonschaltung über den Schutzwiderstand von 1 kΩ mit dem Emitter des ersten Transistors und dem Schließen des Schalters parallel zum

Ampéremeter leuchtete die 6V/0,08A-Lampe je nach Fingerberührung schwächer oder stärker auf. In sehr grober Annäherung errechnete sich daraus ein Verstärkungsfaktor von insgesamt:

$$80000 \mu\text{A} : 6,25 \mu\text{A} = 12800.$$

Zusammenfassung: Vermerk in den Schülerheften:

Verstärkung der Darlingtonschaltung insgesamt: 12800fach. Die Division durch 160, Verstärkungsfaktor des 1. Transistors, führt zum Wert 80. Daraus folgt:

$$V_{\text{insg.}} = V_{\text{Tr.1}} \cdot V_{\text{Tr.2}} = 160 \cdot 80 = 12800.$$

Der zweite Transistor verstärkte also etwa 80fach.

Unterrichtseinheit 5: Arbeitsplatte Transistor-Mess-Schaltung

Unterrichtseröffnung: Der Verstärkungsfaktor V der Stromstärke des Transistors BC141/16 soll bestimmt werden;

Arbeitsphase 1: Gruppen-Auftrag: Den Aufbau des Schaltplanes der Arbeitsplatte erkunden (siehe Abbildung 33), aufzeichnen und den Verstärkungsfaktor der Stromstärke dieser Mess-Schaltung ermitteln. Weitere Fragen: Welche Aufgabe erfüllt der 47Ω -Widerstand? Wie funktioniert die Potentiometer-schaltung?

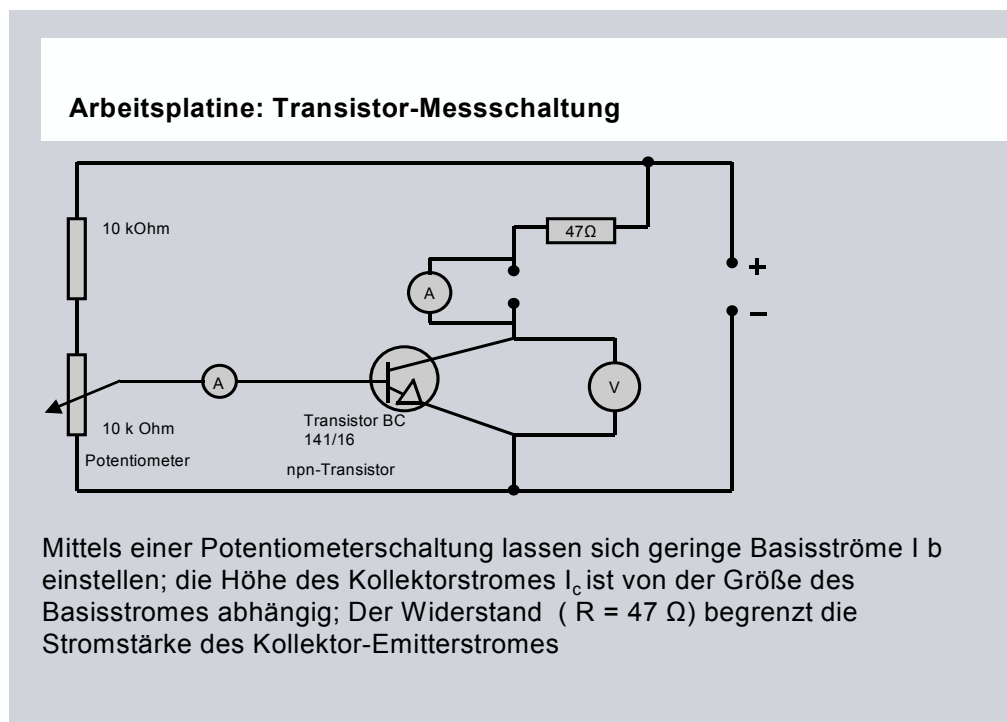


Abbildung 33: Transistor-Mess-Schaltung

Arbeitsphase 2: Messung der Emitter-Ströme I_{CE} einer Arbeitsgruppe bei unterschiedlichen Basis-Strömen I_B und Spannungen U_{CO} : (siehe Abbildung 34)

Nummer	Basis-Strom (mA)	Emitter-Kollektor-Strom (mA)	Kollektor-Emitter-Spannung (Volt)
1	0,0	0,0	5,0
2	0,08	17,8	4,05
3	0,16	36,0	3,11
4	0,25	54,5	2,26
5	0,5	84,0	0,80
6	0,8	94,5	0,25
7	1,0	96,0	0,28
8	1,5	98,0	0,14
9	2,8	98,0	0,1

Abbildung 34: Versuchsergebnisse der Transistor -Mess-Schaltung

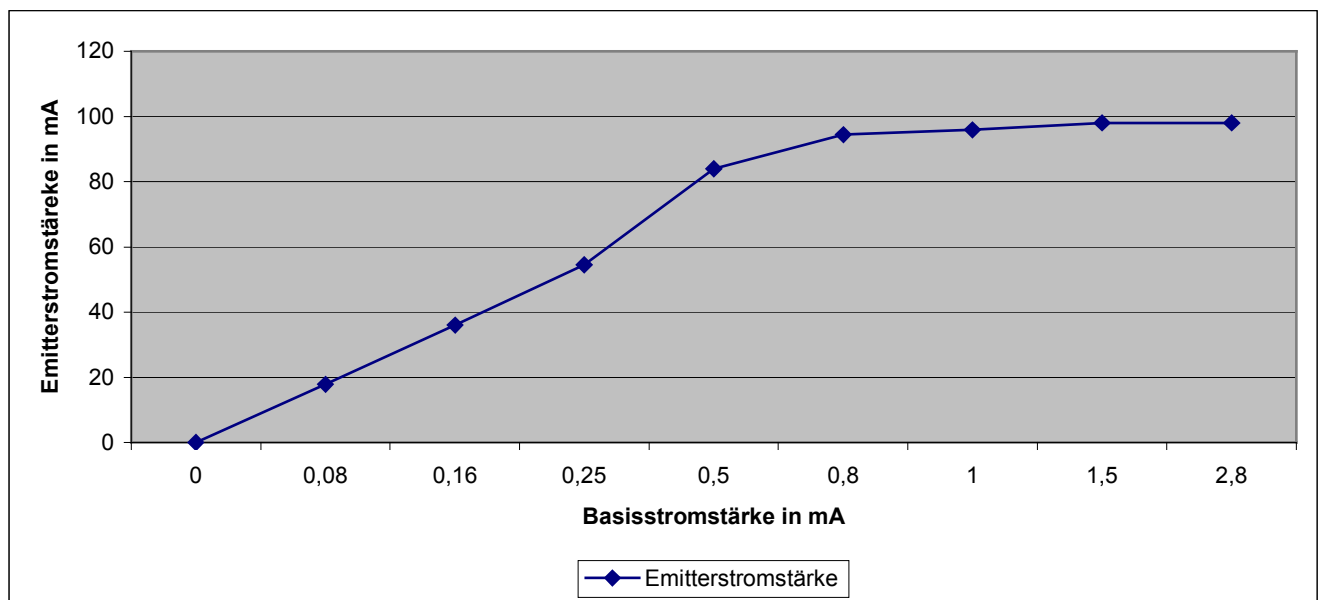


Abbildung 35: Basisstrom zu Emitterstromstärke

Beobachtung: Mit erhöhter Basisstromstärke I_B steigt die Emitterstromstärke I_E . (siehe Abbildung 35)

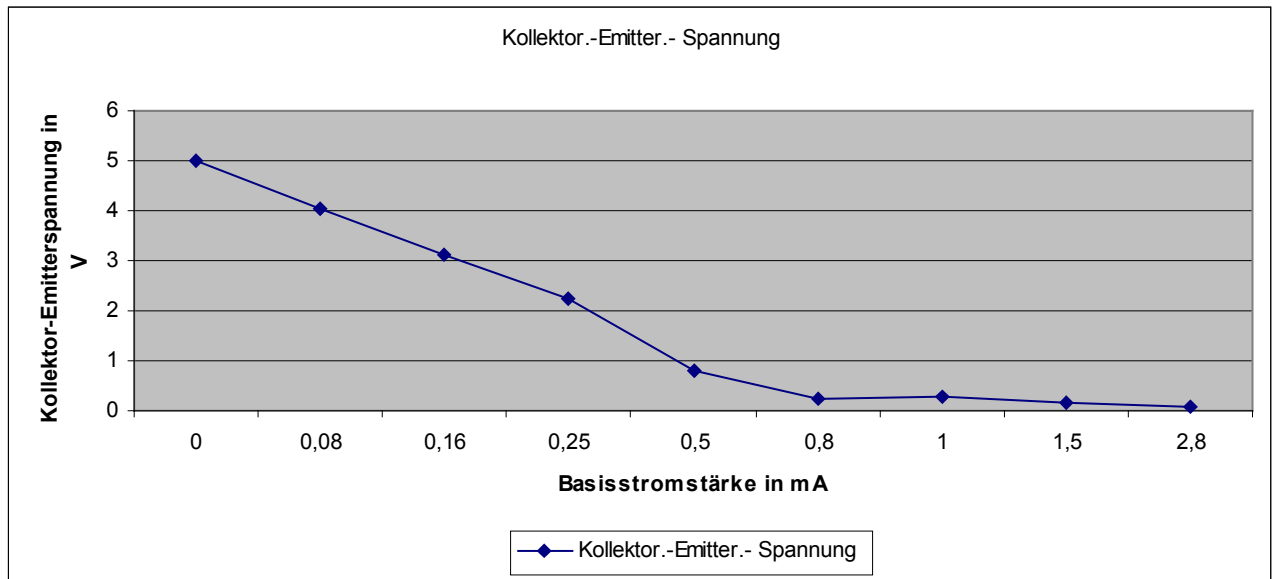


Abbildung 36: Basisstromstärke zur Kollektorspannung

Beobachtung: Mit zunehmender Basisstromstärke I_B sinkt die Spannung an den Transistoranschlüssen Emitter-Kollektor. (siehe Abbildung 36)

Schlussfolgerung:

Im aufsteigenden Teil lässt sich aus den Werten der Zeilen ,5' und ,7' im oberen Diagramm beispielhaft die in etwa gleichbleibende Steigung ,m' des Graphen und damit der Verstärkungsfaktor ,V' des Transistors in diesem Bereich berechnen:

Verstärkungsfaktor V = (Differenz der Emitterstromwerte) : (Differenz der Basisstromwerte)

Also: $(96,0 \text{ mA} - 84,0 \text{ mA}) : (1 \text{ mA} - 0,5 \text{ mA}) = 24$

Im Zeilenbereich ,3' und ,5' zeigt die Berechnung den Wert:

$$(84,0 \text{ mA} - 36 \text{ mA}) : (0,5 \text{ mA} - 0,16 \text{ mA}) = 141$$

an, also eine 141fache Verstärkung.

Erkenntnis: Zur Findung eines optimalen Verstärkungsfaktors V in einer Verstärkerschaltung, etwa zur Verstärkung eines Mikrofonstromes in einem Lautsprecher, ist es also wichtig, diesen vorab genau durch Messung zu bestimmen.

Ergebnis und Merksatz:

Der untersuchte Transistor verstärkt die Stromstärke I_B in den untersuchten Bereichen etwa 24 bis 140 fach.

Unterrichtseinheit 6: Anwendungsschaltungen erkunden, Schaltpläne zeichnen, Funktionen erklären.

Unterrichtseinstieg:

Arbeitsaufträge:

Drei elektronische Versuchsschaltungen, montiert auf einer Arbeitsplatine, sind jeweils in den sechs Arbeitsgruppen zu erkunden, deren Schaltpläne aufzuzeichnen und ihr Funktionieren zu erklären. Anschließend sind die Schaltungen zu vervollständigen, zu erproben, vorzuführen und schließlich sind ihre Funktionsweisen begründend vor der Klasse zu erklären. Abschließend gilt es, in kurzen Merksätzen ihre Wirkungsweise zu beschreiben.

Das folgende Diagramm (siehe Abbildung 37) zeigt die vorgegebenen Teilschaltungen auf den Arbeitsplatinen:

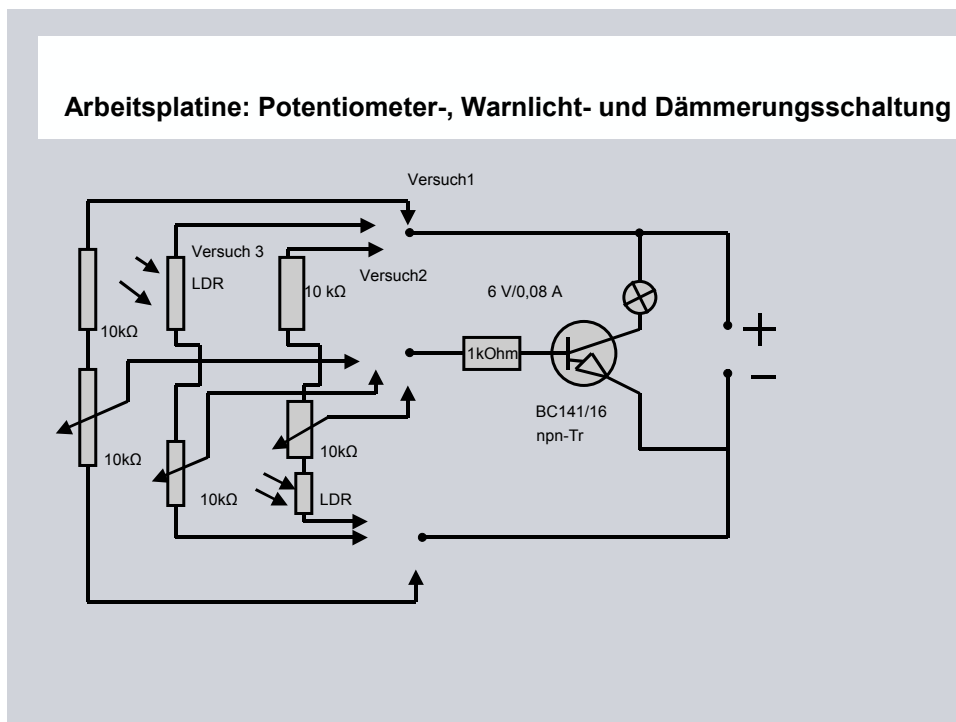


Abbildung 37: Potentiometer-, Warnlicht- und Dämmerungsschaltung

Gruppenauftrag 1:

Die Prüflampe L (6 V/0,08A) soll, von Hand gesteuert, je nach Bedarf unterschiedlich hell leuchten.

Vorgabe durch den Unterrichtenden:

Der auf der Platine eingesetzte Transistor ist ein npn-Exemplar. Das bedeutet: Bei einem Anschluss der Transistorbasis an den Pluspol einer Spannungsquelle öffnet sich die Emitter-Kollektorstrecke.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist es erforderlich, mittels unterschiedlich großer Teilspannungen schwache Basisströme im Transistor zu erzeugen. Dadurch kann die Emitter-Kollektor-Strecke unterschiedlich weit geöffnet werden, so dass die Glühlampe entsprechende Helligkeitsstufen einnimmt. Der Basisvorwiderstand ($1\text{ k}\Omega$) verhindert eine Überhöhung des Basisstromes I_B und damit eine mögliche Überlastung des Transistors.

Der Gesamtwiderstand R_{ges} , der beiden in Reihe geschalteten $10\text{ k}\Omega$ -Widerstände beträgt $20\text{ k}\Omega$, so dass die Stromstärke I in beiden Widerständen den gleichen Wert von $0,25\text{ A}$ annimmt. Bei einer Speisespannung von 5 V können daher bei vollem Abgriff am „unteren“ Widerstand $2,5\text{ Volt}$ abgezweigt werden. Die folgende Skizze, im Unterricht an der Wandtafel entworfen, erleichtert Schülerinnen und Schülern im Bedarfsfall das Verstehen des Teil-Spannungsabgriffes in einer Potentiometerschaltung. (siehe Abbildung 38)

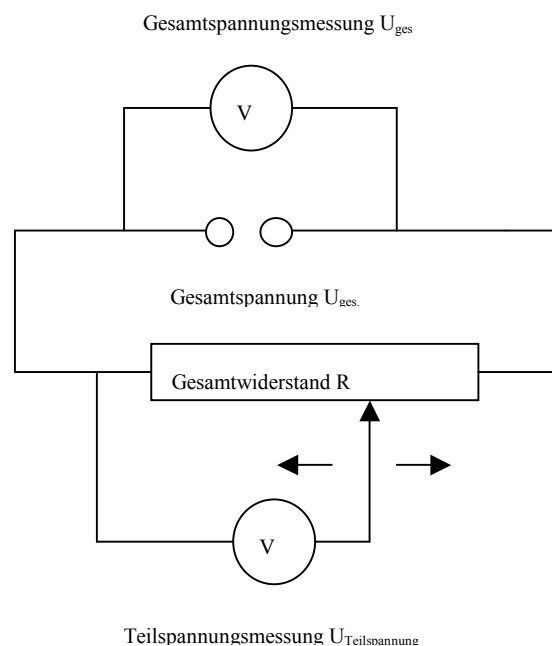


Abbildung 38: Potentiometerschaltung

Es folgt weiterhin bei gleichen Stromstärken I im gesamten Widerstand R und im Teilwiderstand R_{Teil} :

$$I_{\text{Ges.}} = I_{\text{Teils.}}$$

$$U_{\text{Ges.}} : R_{\text{Ges.}} = U_{\text{Teils.}} : R_{\text{Teils.}}$$

$$\rightarrow U_{\text{Teils.}} = (R_{\text{Teils.}} \cdot U_{\text{Ges.}}) : R_{\text{Ges.}}$$

(Im Rahmen der Einführung in die Elektrizitätslehre wurden diese Gleichungen bereits erarbeitet)

In Abhängigkeit von der Teilspannung $U_{\text{Teils}}.$ können folglich Spannungswerte von 0 Volt bis 2,5 Volt am „unteren“ Widerstand ($10 \text{ k}\Omega$) vom Nullanschlag bis zum Vollanschlag abgegriffen werden. Die beschriebene Schaltung stellt eine Potentiometer-Schaltung dar.

Wird nun die negativ abgegriffene Spannung durch Widerstandsvergrößerung erhöht, so verringert sich im Verhältnis hierzu der Widerstandswert R zwischen dem Pluspol der Spannungsquelle und der Transistorbasis. Es gilt: $R_{\text{Ges.}} = R_1 + R_2$. Bei nahezu unverändertem Spannungsabfall am Widerstand R_2 (oberer Widerstand) erhöht sich folglich die Basisstromstärke I_B . (Die Transistorbasis ist näher an den Pluspol der Spannungsquelle gerückt). Damit öffnet sich der npn-Transistor stärker, die Glühlampe leuchtet heller.

Merksatz:

Mittels einer Potentiometerschaltung lässt sich ein jeweils gewünschter Helligkeitsgrad der Glühlampe einstellen.

Zur Festigung des Verständnisses zeichnen alle Schüler und Schülerinnen den Schaltplan, notieren vorgetragene Erklärungen und den gemeinsam erarbeiteten Merksatz. Auch noch Unverstandenes lässt sich in dieser Arbeitsphase klären.

Die Potentiometerschaltung hat für die Erzeugung von Teilspannungen eine erhebliche Bedeutung und sollte daher im Unterricht grundlegend bearbeitet werden. Das betrifft insbesondere auch die beiden Folgeversuche mit dieser Platine.

Gruppenauftrag 2:

Die Prüflampe L soll automatisch bei eintretender Dunkelheit aufleuchten und bei wieder aufkommender Helligkeit ihr Leuchten einstellen.

Die Schaltung ist auf einer Arbeitsplatine herzustellen, vorzuführen und deren Arbeitsweise mittels einer Schaltskizze an der Wandtafel vor der Klasse zu erklären.

Wie lässt sich erreichen, dass bei einer bestimmten Helligkeitsstufe die jeweilige Umschaltung erfolgt?

Funktionserklärung der Schaltung „Versuch 2“:

Bei sich erhöhender positiver Basisspannung U_B des Transistors öffnet sich seine Emitter-Kollektor-Strecke. Die Lampe beginnt zu leuchten.

Nimmt gegen Abend die Helligkeit ab, so steigt der LDR-Widerstandswert bei zunehmender Dunkelheit stark an. Der Gesamt-widerstandswert dieses LDRs und der des Ohmschen Widerstandes am Abgriff nehmen damit in der Summe höhere Werte an als der „restliche“ Widerstandswert des „oberen“ Widerstandes. In der Verbindung des Pluspoles der Spannungsquelle mit der Transistorbasis wird daher ein Basisstrom fließen, der den Transistor „öffnet“. Es fließt folglich ein Emitter-Kollektor-Strom. Die Glühlampe wird damit bei beginnender Dunkelheit aufleuchten. Der Umschalt-punkt lässt sich durch eine veränderte Einstellung des Abgriffes erreichen.

Merksatz:

Der LDR-Widerstand bewirkt bei eintretender Dunkelheit eine Öffnung und bei aufkommender Helligkeit eine Schließung des Emitter-Kollektor-Stromkreises. Leuchten und Nichtleuchten einer Lampe zeigen diese jeweiligen Zustände an.

Sicherung des erarbeiteten Wissens wie im Arbeitsauftrag 1.

Gruppenauftrag 3:

Eine Warnlichtlampe soll bei hellem Feuerschein aufleuchten. Eine entsprechende Schaltung ist auf einer Arbeitsplatte zu erstellen, deren Funktion experimentell nachzuweisen und der Klasse an Hand einer Tafelskizze zu erklären.

Erklärung: Dem Schaltaufbau auf der Arbeitsplatte ist zu entnehmen, dass ein LDR-Widerstand in Reihe mit einem Potentiometer geschaltet ist. Bei intensiver Beleuchtungsstärke sinkt dessen Widerstandwert erheblich, so dass nahezu eine direkte Verbindung zwischen der Transistorbasis und dem Pluspol der Spannungsquelle entsteht. Der entstehende Basisstrom bewirkt eine Öffnung der Emitter-Kollektor-Strecke. Bei Dunkelheit fällt über das Potentiometer eine negativ ausgerichtete Spannung ab. Die Glühlampe bleibt dunkel. Mittels des Abgriffes am Potentiometer lässt sich die Einstellung, bei der ein Aufleuchten eintreten soll, einstellen.

Merksatz:

Bei aufkommender, intensiver Lichteinstrahlung des LDR-Widerstandes leuchtet die Glühlampe als Warnlicht-Vorrichtung auf.

Sicherung des Wissens wie im Arbeitsauftrag 1.

Unterrichtseinheit 7: Leuchtdioden verwandeln elektrische Energie in Licht verschiedener Farben

(Diese Unterrichtseinheit wurde in zwei Soltauer Klassen durchgeführt)

Unterrichtseinstieg: Schülerinnen und Schülern sind Leuchtdioden als Signallampen in vielen Geräten des Haushaltes bekannt. Sie zeigen durch ihr Leuchten beziehungsweise Nichtleuchten an, ob das betreffende Gerät ein- oder ausgeschaltet ist. Leuchtdioden sind nicht nur in Haushalten wichtige Helfer. Ihr Einsatz in technischen Vorrichtungen an Arbeitsplätzen, in Verkehrsmitteln, auf Bahnhöfen und Flugplätzen, in Krankenhäusern ist geradezu unverzichtbar. Ihre Funktionen dienen damit allgemein der Lenkung und Steuerung von Vorgängen und damit letztlich der Sicherheit.

Im Physikunterricht zeigen Leuchtdioden unmittelbar die Betriebsbereitschaft von Stromversorgungsgeräten an.

Schaltplan der Arbeitsplatte (siehe Abbildung 39):

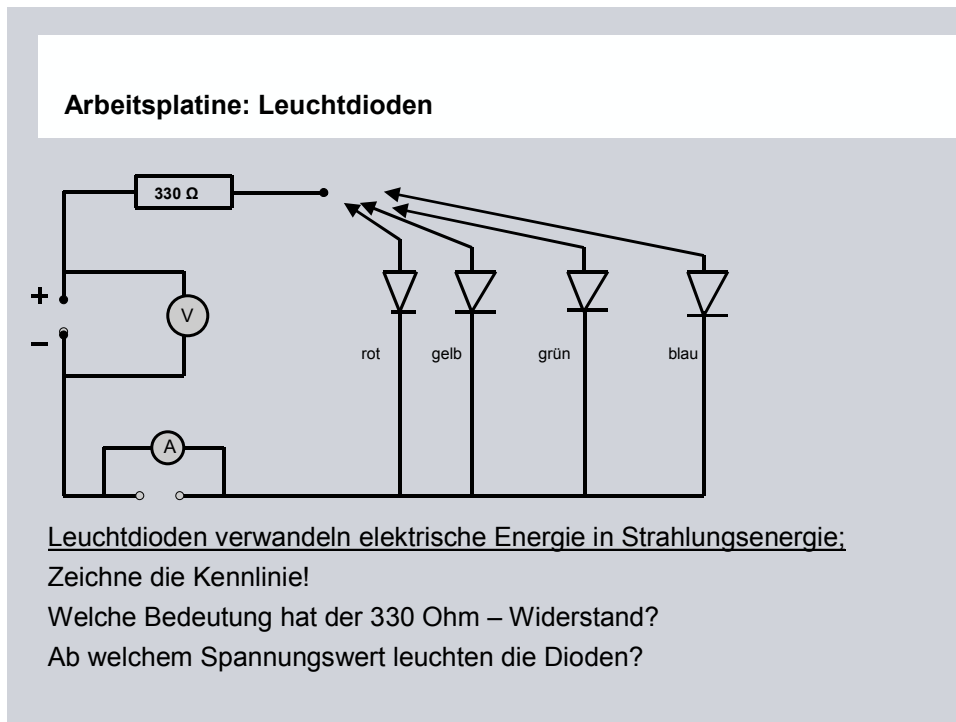


Abbildung 39: Arbeitsplatine Leuchtdioden

Arbeitsaufträge für sechs Arbeitsgruppen:

1. Welche Stromstärken I fließen durch die Dioden bei einer Speisespannung von 5 Volt? Wie groß sind die Diodenwiderstände?

Ergebnis einer Arbeitsgruppe: (Siehe Abbildung 40):

Diode	rot	gelb	grün	blau
Spannung U in Volt	4,98	5,00	5,00	5,03
Stromstärke I in mA	10,2	10,0	9,7	5,4
Widerstand R in Ω vermindert um 330 Ω	158,2	170	185,46	601,48

Abbildung 40: Unterschiedliche Widerstände von Leuchtdioden

Ergebnisse aller Arbeitsgruppen (Tafelvermerk): Die Rangfolge der inneren Diodenwiderstände spiegelt sich in folgender Ungleichung:

$$R_{\text{blau}} > R_{\text{grün}} > R_{\text{gelb}} > R_{\text{rot}}$$

2. Auf welchen Wert begrenzt der Vorwiderstand R bei etwa 5 Volt Speisespannung die maximale Stromstärke I ?

Gruppenergebnisse: $U : R = I \rightarrow 5 \text{ Volt} : 330 \Omega = 15,2 \text{ mA}$. Zulässiger Grenzwert zur Vermeidung einer Zerstörung der Diode sind laut Angabe etwa 20 mA; ein Vorwiderstand ist daher immer zur Erhaltung einer Leuchtdiode unerlässlich. Ein direkter Anschluss einer Diode an eine Spannungsquelle führt wegen des geringen inneren Widerstandes und den der Leitung natürlich immer zu hohem Stromfluss und damit zur Diodenzerstörung.

3. Welche Wirkung hat eine Umpolung?

Gruppenergebnisse: Leuchtdioden strahlen nur dann Licht ab, wenn der Kontaktdraht auf der abgeflachten Seite des Ringes des Diodenkörpers mit dem Minuspol der Spannungsquelle verbunden ist (Durchlassrichtung). Bei Verbindung dieses Kontaktdrahtes mit dem Pluspol der Spannungsquelle leuchtet sie nicht (Sperr-Richtung). (Natürlich ist jeweils ein geschlossener Stromkreis herzustellen.)

Ab welcher Spannung, mit dem Voltmeter direkt in Parallelschaltung zur Diode gemessen, beginnt ein messbarer Stromfluss?

Ergebnisse in Tabellen und Graphen darstellen!

Versuchsergebnisse einer Arbeitsgruppe: Rote Leuchtdiode: 1,33 Volt; Gelbe Leuchtdiode: 1,57 Volt; Grüne Leuchtdiode: 1,64 Volt; Blaue Diode: 2,5 V;

Diese gemessenen Spannungen werden Schleusenspannungen der Dioden genannt. (Genauere Angabe: Wert des Schnittpunktes der Tangente des Diodengraphen mit der x-Achse)

Kennwerte der Leuchtdioden

Messbereiche des Multimeters: U : 20 Volt; I : 20 m A.

Nr	Rote LED		Gelbe LED		Grüne LED		Blaue Dode	
0	U in Volt	I in mA	U in Volt	I in mA	U in Volt	I in mA	U in Volt	I in mA
1	0,11	0,00	0,12	0,00	0,12	0,0	0,12	0,0
2	0,50	0,0	0,5	0,00	0,51	0,0	0,50	0,0
3	1,01	0,001	1,0	0,00	1,0	0,0	2,51	0,01
4	1,49	0,02	1,5	0,00	1,5	0,0	2,90	0,1
5	1,61	0,32	1,61	0,01	1,6	0,0	2,99	0,17
6	1,65	0,73	1,71	0,19	1,7	0,02	3,13	0,4
7	1,70	1,15	1,8	1,22	1,8	0,29	3,20	0,7
8	1,80	6,82	1,9	5,16	1,9	2,29	3,29	1,53

Abbildung 41: Kennwerte der Leuchtdioden-Tabelle

Darstellung im Diagramm: (Die Werte der blauen Diode sind in diesem Diagramm (siehe) ihrer höheren Beträge wegen rechts unten nur angedeutet). (siehe Abbildung 42)

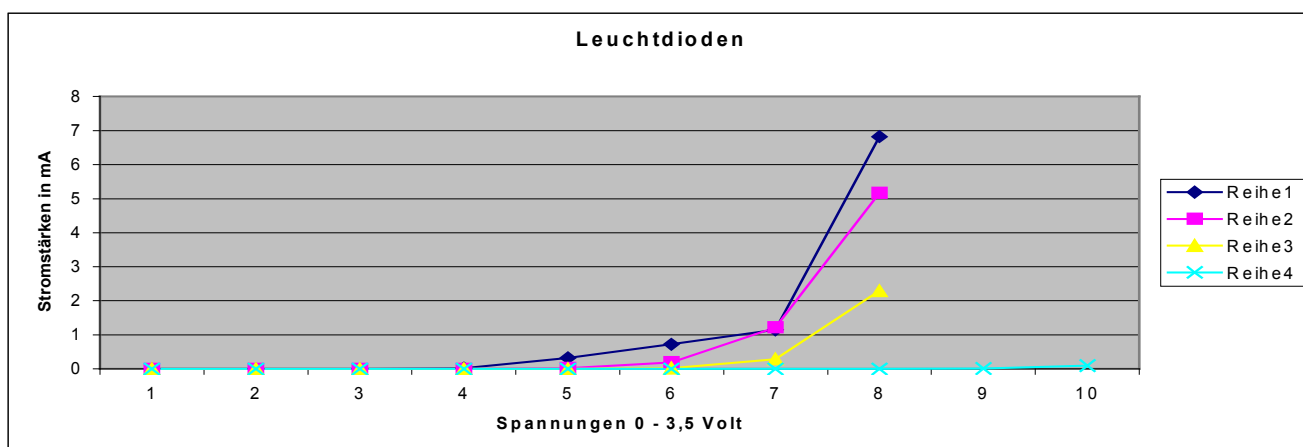


Abbildung 42: Kennwerte der Leuchtdioden-Grafik

Legende: 1. Reihe: rote LED; 2. Reihe: gelbe LED; 3. Reihe: grüne LED; 4. Reihe: blaue LED;

Der Skalenangabe „4“ entsprechen 1,4 Volt; der Angabe „5“ 1,75 Volt; der Angabe „6“ 2,1 Volt; der Angabe „7“ 2,45 Volt;

Der Angabe „8“ 2,8 Volt; der Angabe „9“ 3,15 Volt und der Angabe „10“ 3,5 Volt;

5. Erzeugen Leuchtdioden im Betrieb Wärmeenergie?

Gruppenergebnisse: Es werden im Unterricht bei Fingerberührungen durch Schüler kaum Temperaturerhöhungen bei einer leuchtenden Diode im Gegensatz zu denen bei einer leuchtenden Glühlampe festgestellt.

Daraus folgt in einer ersten Feststellung durch Schülerinnen und Schüler: Leuchtdioden erzeugen und verlieren daher kaum Energie durch Wärmeentwicklungen.

Merksätze:

1. **Die blaue Leuchtdiode weist den größten inneren Widerstand auf, die rote den geringsten.**
2. **Durch Begrenzung der Stromstärke I schützt der Vorwiderstand R Leuchtdioden vor einer inneren Zerstörung.**
3. **Leuchtdioden geben nur Licht bei Durchlass-Schaltung ab.**
4. **Beim Erreichen der Schleusenspannung beginnt der Elektronenfluss in Leuchtdioden.**
5. **Leuchtdioden erwärmen sich kaum und sind dadurch sehr sparsam.**

Unterrichtseinheit 8: Solarzellen verwandeln Strahlungsenergie der Sonne in elektrische Energie

Schaltplan der Arbeitsplatte (siehe Abbildung 43)

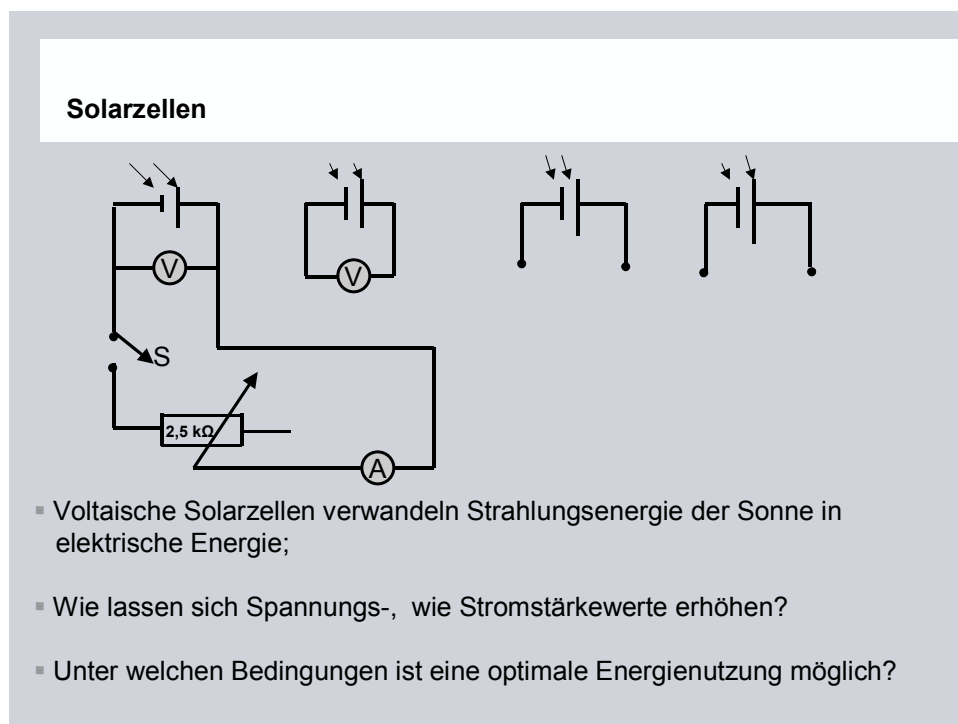


Abbildung 43: Versuche mit Solarzellen

Unterrichtseinstieg:

Feststellung in einem Gespräch: Viele Hausbesitzer lassen gegenwärtig auf ihren nach Süden gerichteten Gebäudedächern Solarmodule errichten. Welche Gründe veranlassen sie dazu?

Fragen und Vermutungen: Die Gewinnung von elektrischer Energie aus Solarenergie ist kostengünstiger und umweltschonender? Mit Hilfe welcher Formel lässt sich elektrische Energie berechnen? In welcher Einheit wird sie angegeben? Welche Funktionsabläufe vollziehen sich in einer Solarzelle? Wie lässt sich die Ausbeute erhöhen? Die Beantwortung dieser Fragen erfordert erste eigene Untersuchungen der Lernenden.

Arbeitsaufgabe 1: Der Schaltplan jeder der sechs Arbeitsgruppen einer Klasse ist zu erkunden und in einer Skizze festzuhalten. Schaltelemente sind zu benennen!

Ergebnis: Siehe Schaltplan in Abbildung 43.

Arbeitsaufgabe 2: Nach dem Anschluss eines Spannungsmessgerätes an eine Solarzelle - Messbereich beachten-, den Spannungswert U_1 bei ausgeschalteter Raumbeleuchtung, anschließend U_2 bei Raumbeleuchtung messen. Welchen Spannungswert U_3 erhält man bei Versuchsdurchführung auf der Fensterbank des Physiksaales, welchen Wert U_4 im Licht einer Reuterlampe?

Lösung: Werte einer Soltauer Arbeitsgruppe:

$U_1 = 0,28 \text{ V}$, $U_2 = 0,35 \text{ V}$; $U_3 = 0,39 \text{ V}$ (wechselnd infolge von Wolkenbewegungen) und $U_4 = 5,1 \text{ V}$;
Erkenntnis: Je intensiver eine Lichtquelle strahlt, desto größer ist die elektrische Zellenspannung).

Arbeitsaufgabe 3: Wie lassen sich höhere Spannungen erzielen?

Lösung: Schüler und Schülerinnen in Soltau ermitteln durch eigenes Probieren, dass durch Reihenschaltungen der Solarzellen Spannungen höher als 0,5 V erzielt werden können.

Beispiel einer Arbeitsgruppe:

$U_1 = 0,28 \text{ V}$; $U_2 = 0,35 \text{ V}$; gemessen über beide Zellen 0,63 V ; errechnet: $0,28 \text{ V} + 0,35 \text{ V} = 0,63 \text{ V}$;

Erhärtete und bestätigte Folgerung aus mehreren Ergebnissen in der Klasse: Es gilt: $U_{\text{ges.}} = U_1 + U_2$ im Falle von Reihenschaltungen).

Arbeitsaufgabe 4: Die Stromstärken I einzelner Solarzellen sind mit dem Ampèremeter bei unterschiedlichen Raumbeleuchtungen zu messen, zunächst vorsichtshalber zum Schutze des Messgerätes mit dem größten Messbereich von 200 mA. Anschließend ist zu erproben, wie Stromstärkewerte erhöht werden können.

Lösung: Messwerte einer Soltauer Gruppe:

Zelle 1 : $0,035 \mu\text{A}$; Zelle 2 : $187 \mu\text{A}$ → errechnet $222 \mu\text{A}$; gemessen in Parallelschaltung $212 \mu\text{A}$; in Reihenschaltung $157 \mu\text{A}$; der gemessene Wert der Parallelschaltung stimmt am besten mit dem errechneten überein;

Erkenntnis: mit großer Wahrscheinlichkeit und in Übereinstimmung mit den anderen Gruppenergebnissen in der Klasse gilt: $I_1 + I_2 = I_{\text{ges}}$ bei Parallelschaltung der Solarzellen.

Arbeitsaufgabe 5: Strahlungsenergie der Sonne mittels Solarzellen und Arbeitswiderständen optimal nutzen

Unterrichtseinstieg in der Folgestunde: Lehrerhinweis zur Erinnerung:

Die Leistung des elektrischen Stromes wird, wie früher abgeleitet, durch das Produkt: $U_V \cdot I_A$ bestimmt. Das Produkt wird daher einen größtmöglichen Wert annehmen, gemessen in Watt, wenn U und I höchstmögliche Werte annehmen. Zu bedenken ist auch, dass die beiden Faktoren U und I keineswegs Nullwerte annehmen dürfen, da dann das Produkt insgesamt den Wert „Null“ annimmt. (siehe Abbildung 44)

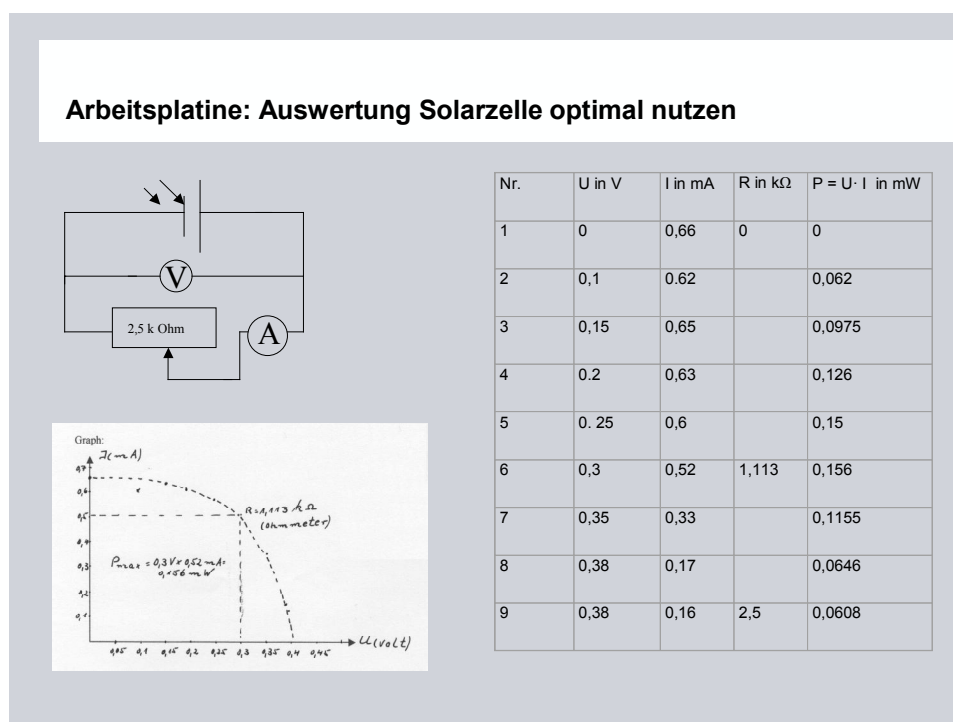


Abbildung 44: Auswertung des Versuches Solarzelle- Optimale Leistung einer Solarzelle

Experimentell gewonnene Einsichten:

Nimmt bei direktem Anschluss des Ampèremeters an eine Solarzelle die Stromstärke I einen hohen Wert an, dann liegt der Spannungswert U nahe bei ,0'. Wird ein Lastwiderstand R mit hohem Wert an eine Zelle angeschlossen, so ist die Stromstärke sehr niedrig, der Spannungswert relativ hoch. Einen optimalen Energiegewinn einer bestrahlten Zelle zu entnehmen, bedeutet daher, mittlere Spannungs- und Stromstärkewerte durch Einschaltung eines veränderbaren Lastwiderstandes zu finden, deren Produkt einen möglichst großen Leistungswert annimmt. (siehe Abbildung 44)

Unterrichtseinstieg: Darstellung und Besprechung des beschriebenen Sachverhaltes mit einer Soltauer Realschulklasse.

Unterrichtsverlauf: Ermittlung der im Diagramm angegebenen Wertetabelle in einem Demonstrationversuch (In Ermangelung eines ausreichenden Zeitraumes konnte der angegebene Sachverhalt nur in einem Demonstrationsversuch unter aktiver Mitarbeit der Jugendlichen erarbeitet werden.)

Auswertung der in der Tabelle angegebenen Daten:

Das maximale Produkt $0,3 \text{ Volt} \cdot 0,52 \text{ mA} = 0,156 \text{ mW}$ wurde durch Rechnung der Jugendlichen in der Klasse gefunden. Der Widerstandswert von $1,113 \text{ k}\Omega$ konnte dann durch erneute Einstellung durch den Lastwiderstand auf den zugehörigen Spannungswert von $0,3 \text{ Volt}$ gemessen werden.

Ergebnis: Bei einem Last-Widerstandswert von $1,113 \text{ k}\Omega$ wird die eingesetzte Solarzelle optimal genutzt.

Merksätze:

- 1. Je intensiver Lichteinstrahlungen, desto höher die Erzeugung der elektrischen Spannungen.**
- 2. Durch Reihenschaltung von beleuchteten, unbeschatteten Solarzellen lassen sich höhere Spannungen erzeugen.**
- 3. Parallel geschaltete Solarzellen ermöglichen die Abnahme größerer Stromstärken.**
- 4. Ein in Reihenschaltung mit Solarzellen verbundener Lastwiderstand R bestimmter Größe ermöglicht eine maximale elektrische Leistungsabgabe.**

6.3. Halbleiterische Funktionsabläufe in ihrem Entstehen erfassen

Halbleiterische Funktionsabläufe voraussagen zu können, sie grundsätzlich zu erfassen und zu verstehen, setzt voraus, auch über den atomaren Aufbau der jeweils verwendeten Materie Kenntnisse zu haben. Im Physikunterricht etwa nur experimentell über die bloße Eigenschaft der Sperrfähigkeit von Gleichstrom einer Halbleiterdiode in Abhängigkeit von der Polung Kenntnisse zu gewinnen, ist kaum zufriedenstellend. Es verschafft keinen ersten, ordnenden Überblick.

Es muss vielmehr über die experimentelle Erfahrung in der Halbleitertechnik hinaus gelingen, auch tiefere Einsichten über den inneren Verlauf von nicht sichtbaren Vorgängen den Schülern und Schülerinnen zu vermitteln. Damit stellt sich die methodisch-didaktische Frage, wie sich im Unterricht erreichen lässt, dass möglichst viele Lernende aktiv an theoretischen Überlegungen beteiligt werden. Gemeinsam in Klassengesprächen vorbereitete Lückentexte, die jedem Schüler, jeder Schülerin vorliegen, zu ergänzen, diese zu besprechen und notfalls falsche Vorstellungen zu korrigieren, scheint eine geeignete methodisch-didaktische Möglichkeit zu bieten, einen möglichst großen Schülerkreis anzusprechen und diesen dann aktiv in den Prozess des Wissenserwerbes einzuschalten. Zugleich liegt den Lernenden auch für die häusliche Nachbereitung eine gültige Informationsquelle vor.

Angeichts des großen Umfanges physikalisch-technischer Inhalte, die Einfluss auf menschliches Leben nehmen und im schulischen Physikunterricht schon aus zeitlichen Gründen nicht insgesamt erarbeitet werden können, obliegt es zunehmend jedem Einzelnen, sich selbst zusätzliches, erforderliches Wissen in eigenem Interesse anzueignen und auch zu sichern. Lehrbücher der Physik bieten vielfach eine erste Gelegenheit, fehlende Kenntnisse zu ergänzen. Ihren Einsatz, ihren Gebrauch sinnvoll zu nutzen sollte daher Schülerinnen und Schülern aufgezeigt werden. Lückentexte mit Hilfe von Informationen aus unterschiedlichen schriftlichen Quellen zu füllen, das kann daher bereits als Vorstufe zu autodidaktischem Lernen verstanden werden. Ihren Einsatz im Unterricht sollte man deshalb nicht unterschätzen.

Im Folgenden wird beispielhaft zur elementaren Halbleitertechnik ein solcher Text vorgestellt, dessen Lücken zu schließen sind. Gerade nicht sichtbare Leitungsvorgänge in Halbleitern stellen eine herausragende Besonderheit dar, auf deren Verstehen im Physikunterricht ihrer Besonderheit wegen keineswegs verzichtet werden sollte.

Es ist natürlich nicht beabsichtigt, den angeführten Lückentext in einem Durchgang zu erarbeiten. Vielmehr sollten unter Beachtung des jeweiligen Grades des Verstehens neuer halbleiterischer Inhalte unter den Lernenden in den Klassen Textabschnitte erarbeitet und auch bei Bedarf wiederholt werden.

Arbeitstext-Abschnitt 1: Leiter-Nichtleiter-Halbleiter

(Hier kursiv niedergeschriebene Fügungen sind in den Schülervorlagen als Leerstellen aufgeführt und damit nicht ausgefüllt)

Eigenleitfähigkeit: Die elektrische Leitfähigkeit eines Eisendrahtes, eines Körpers allgemein, ist vom Vorhandensein *beweglicher Ladungsträger* abhängig. In Metallen sind es die aus *Valenzelektronen* entstandenen leitenden *Elektronen*, in Nichtleitern wie Porzellan stehen sie gar nicht zur Verfügung, weil sie fest in die Atome und Moleküle eingebunden sind. Eine besondere Rolle nehmen die Halbleiter wie *Germanium* und *Silizium* ein. Ihre Atome tragen in der äußersten Schale *vier Elektronen*. Diese gehen mit Nachbaratomen eine feste Bindung, eine *Elektronenpaarbildung* ein. Freie *Elektronen* gibt es zunächst nicht. Steigt jedoch die *Temperatur*, so schwingen die *Siliziumatome* stärker um ihre jeweilige Position und verlieren Elektronen aus ihren äußersten Bindungen. Nach dem Coulombschen Gesetz sind die elektrischen Bindungen der Atomkerne an diese schwächer als die zu den näher am Kern liegenden. Am stärksten sind die Bindungskräfte zwischen Kern und Elektronen der innersten Schale im *Atom*.

Die auf Grund der Schwingungen entstandenen freien Elektronen hinterlassen in „ihren“ Atomen sogenannte „Löcher“. Beide stehen nunmehr für die elektrische Leitung zur Verfügung. Je höher die Temperatur, desto *größer* ist die Zahl der Leitungselektronen und die der Löcher. Bei höheren Temperaturen wird also reines Silizium *elektrisch* leitfähig.

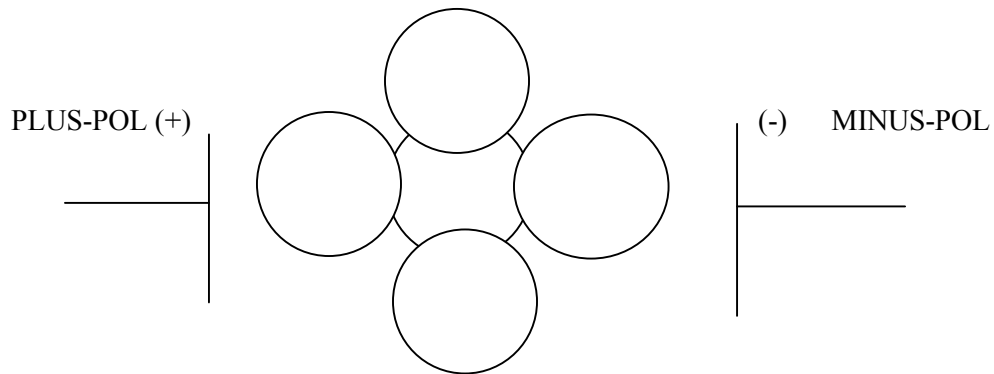


Abbildung 45: Si-Atome

Schüleraufgabe:

In der Skizze sollen die fünf Kreise Silizium-Atome darstellen.

- Kennzeichne die Mittelpunkte mit einem Punkt und mit dem Kürzel ,Si'.
- Wieviel Elektronen hat das mittlere Siliziumatom mit den benachbarten gemeinsam?

- Löst sich ein ,Valenzelektron' aus der Bindung, in welche Richtung bewegt es sich dann ?

- Das entstandene „Loch“ kann sich schnell durch ein anderes Elektron, das sich gerade vorbei bewegt, wieder gefüllt werden.
- Wo ist aber jetzt ein neues Loch entstanden? In welche Richtung bewegen sich also Löcher?

Folgerung: Elektronen bewegen sich in Richtung zum _____,

Löcher in Richtung zum _____.

Schon bei Zimmertemperatur entstehen freie, bewegungsfähige Elektronen, die eine erste elektrische Eigenleitfähigkeit ermöglichen.

Arbeitstext-Abschnitt 2:

Dotierung 2.1.

Fügt man Silizium beispielsweise Arsen- oder Phosphoratome zu, so erhält man zusätzliche Ladungsträger.

(Wo stehen diese beiden Elemente im Periodensystem ? < Antwort: Elemente in der 5. Hauptgruppe >),

Das Arsenatom trägt fünf Elektronen in seiner äußersten Schale. Vier dienen der Bindung mit umgebenden Siliziumatomen, das fünfte ist frei beweglich. Normalerweise enthält eine Anzahl von 1 000 000 000 Siliziumatomen ein Arsenatom infolge von Verunreinigung. Nach der gezielten Dotierung kommt jedoch auf 1 000 000 Atome bereits ein Arsenatom. Um das Wievielfache ist damit die elektrische Leitfähigkeit erhöht?

(Antwort: $1\,000\,000\,000 : 1\,000\,000 = 1\,000$, sie ist 1000-fach erhöht).

Welche Ladungsträger gibt es nun im mit Arsen verunreinigten Silizium?

(Es gibt ergänzend zur bereits genannten Eigenleitfähigkeit des Siliziums positiv geladene Arsenrümpfe - zum 5. Proton im Kern fehlt ein Elektron -, fest in das Kristallgitter eingebaut und daher unbeweglich - und freie, bewegliche, negativ geladene Elektronen).

Zusammenfassung:

Es existieren insgesamt im arsendotierten Silizium :

- n positiv geladene, fest eingebaute Arsenatome,
- n negativ geladene, bewegliche Elektronen,
- in Abhängigkeit von der Temperatur in gleicher Zahl durch Paarbildung entstandene freie, negativ geladene Elektronen und „Löcher“.

(Welche Ladungsträger ermöglichen den Transport von elektrischen Ladungen? Die Elektronen - nicht die fest eingebauten Arsenatome).

Bilanz:

Insgesamt sind die für den elektrischen Ladungstransport beweglichen Elektronen in der Überzahl. Mit Arsen verunreinigtes Silizium trägt daher den Namen „n-Leiter“.

Dotierung 2.2.:

Fügt man reinem Silizium Indium- oder Galliumatome mit nur jeweils drei Valenzelektronen im Atom zu, so können diese ein viertes Elektron aufnehmen. Da die negative Ladung dieser Elektronen nicht durch ein positiv geladenes Proton im Kern ausgeglichen wird, wirken solche Atome insgesamt *negativ*. In der Gesamtbilanz stellt sich folgende Situation dar:

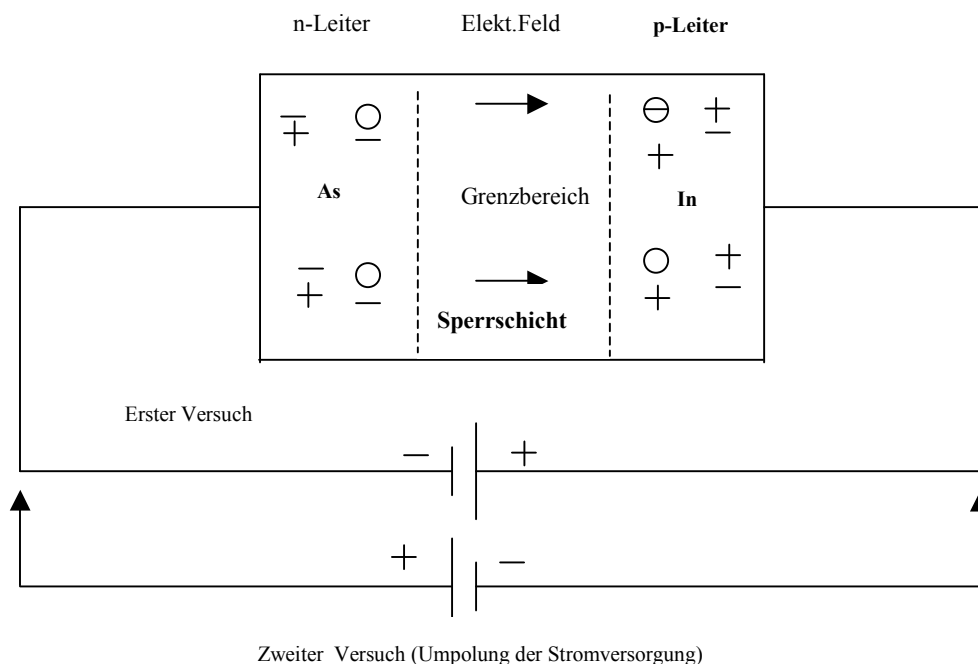
- Mit einem Elektron angereicherte Indiumatome sind *negativ geladen* und *fest* eingebaut,

- Ein eingefangenes Elektron hat ein „Loch“ in einem Siliziumatom herbeigeführt. Dieses bewirkt ein *positiv* geladenes Gesamt-Atom und ist *beweglich*,
- Auf Grund der Paarbildung unter den Siliziumatomen gibt es *Elektronen* und „*Löcher*“ in gleicher Zahl.

Zusammenfassung: Bilanz:

Positive, bewegliche Ladungsträger sind im mit Indium verunreinigten Silizium in der Überzahl. Dieses Silizium nennt man deshalb *p-Leiter*.

Arbeitstext-Abschnitt 3: Zusammenfügung von n-Leitermaterial mit p-Leitermaterial (siehe Abbildung 46)



Zweiter Versuch (Umpolung der Stromversorgung)

Abbildung 46: Aufbau einer Halbleiterdiode

3.1. Kennzeichne im Arsenbereich zwei feste, unbewegliche positive Ladungen (Kreise)!

3.2. Welche Bedeutung hat das Minuszeichen unterhalb der Kreise?

3.3. Welche Bedeutung haben die vier Zeichen am linken Rand?

3.4. Kennzeichne im Indiumbereich zwei feste, unbewegliche negative Ladungen (Kreise)!

3.5. Welche Bedeutung haben die Pluszeichen unterhalb der Kreise?

3.6. Welche Bedeutung haben die vier Zeichen am rechten Rand?

Arbeitstext-Abschnitt 4: Wirkungsweise von zusammengefügttem n- und p-Leitermaterial

Erarbeitung der folgend dargestellten Inhalte in einem Unterrichtsgespräch:

(Ihre schriftliche Fixierung durch Schüler und Schülerinnen wird aus zeitlichen Gründen kaum im Unterricht möglich sein und sollte daher eventuell einer Hausarbeit vorbehalten bleiben)

Werden n- und p-Leitermaterialien zusammengefügt, so entsteht zunächst ein Grenzbereich. Auf Grund der festen Ladungsträger, vertretungsweise wurden in obiger Schaltskizze nur jeweils zwei gezeichnet, bildet sich hier auch ein *elektrisches Feld* aus, das von positiver zu negativer Ladung ausgerichtet ist. Im Grenzbereich findet unmittelbar nach dem Zusammenfügen der unterschiedlichen Leiter ein Ladungsausgleich statt. Elektronen aus dem nahen n-Bereich füllen Löcher aus dem nahen p-Bereich und umgekehrt. Dieser Vorgang ist jedoch sehr bald wegen Füllung der Löcher beendet. Das feste elektrische Feld wirkt auch den Ladungsbewegungen entgegen.

Anlegen äußerer Spannungen:

Von außen angelegte elektrische Gleichspannungen haben unterschiedliche Wirkungen auf die inneren Ladungsverteilungen.

Im ersten Versuch werden von außen Elektronen auf den Minusleiter „gedrückt“. Nach Überwindung der inneren Spannung des dortigen elektrischen Feldes, Schwellenspannung oder auch Schleusenspannung genannt, stellt die Sperrschicht keinen elektrischen Widerstand mehr dar. Der Elektronendurchfluss durch die Diode ist möglich. Es liegt eine *Durchlass-Schaltung* vor.

Im zweiten Versuch werden durch den Pluspol der Spannungsquelle Elektronen aus dem n-Leiter „abgesaugt“. Durch den Minuspol werden Elektronen in den p-Leiter „gedrückt“. Dadurch füllen sich vorhandene „Löcher“, die nun nicht mehr für Leitungsvorgänge zur Verfügung stehen. Als Folge verbreitert sich die Sperrzone, Elektronen können *nicht mehr fließen*.

6.4. Erklärung der Vorgänge im LDR- und im NTC- Halbleiter:

Schülerversuche mit der Arbeitsplatine „2“, eingangs durchgeführt, brachten die Erkenntnis, dass die Widerstandswerte R der LDRs *bei stärkerem Lichteinfall sinken*. Das Versuchsergebnis ist relativ einfach zu erklären. Vermehrt auftreffende Lichtquanten im Photowiderstandswerkstoff (z. B. im Cadmiumsulfid) auf Elektronen lösen diese aus ihren Atombindungen, die dann für erhöhte elektrische Leitungen zur Verfügung stehen. Diesen Vorgang nennt man *inneren Photoeffekt*. Im Fall der Nichtbeleuchtung fallen die Leitungselektronen in die Atombindungen zurück.

Zuführungen von Wärmeenergie, innerer wie äußerer, *erhöhen die Schwingungsweite* der Moleküle von Metalloxiden um ihre Position (zum Beispiel von Magnesiumoxid). Dabei lösen sich Valenzelektronen aus ihren Verbänden und *erhöhen* damit die elektrische Leitfähigkeit. Nach dem Abklingen der Temperatur kehren die Elektronen wieder in Atombindungen zurück. Die Leitfähigkeit *sinkt* beim Abkühlen.

Arbeitstext-Abschnitt 6: Funktionsabläufe in npn-Transistoren-Vorgänge des Verstehens bei Lernenden durch einen Lückentext unterstützen:

Mit unseren npn-Transistoren BC 141/16 konnten wir Ströme verstärken. Die drei Anschlüsse heißen:

Basis, Emitter und Kollektor. Der Buchstabe B bedeutet, das Ausgangsmaterial ist *Silizium*. C gibt an, es handelt sich um einen Transistor, der im Tonfrequenzbereich angewendet werden kann. 141/41 ist eine Seriennummer.

Die von uns genutzten npn-Transistoren bestehen aus drei Halbleiterschichten (siehe Abbildung 47), die jeweils mit Kontaktdrähten nach außen verbunden sind. Der mittlere Anschluss heißt, von unten auf die Bodenplatte geschaut, Basis, der linke Emitter und der rechte Kollektor. Die sehr dünne mittlere Basisschicht ist positiv dotiert, die beiden anderen, breiteren, negativ.

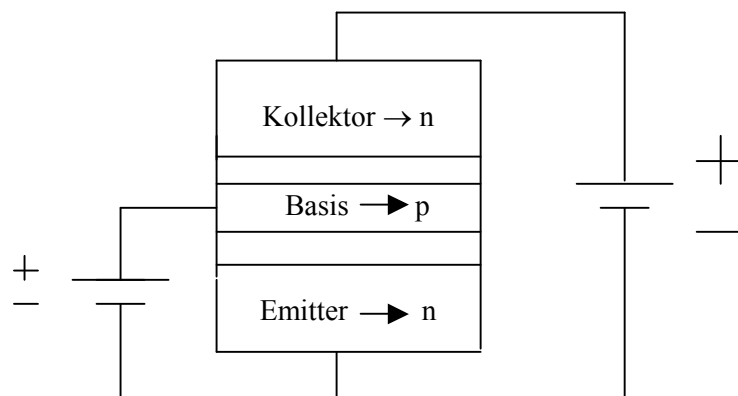


Abbildung 47: Aufbau eines npn-Transistors

Beantworte bitte die folgenden Fragen:

- Wieviele Sperrschichten weist die Schaltskizze auf? _____ Kennzeichne sie!
- Könnten bewegliche Elektronen aus der Emitterschicht in die Basis fließen? _____
- Die Basisschicht ist sehr dünn, nur wenige Bruchteile eines Millimeters dick. Wie wird das elektrische Feld zwischen der Basis und dem Kollektor auf die zahlreichen, in der Basis ankommenden Elektronen wirken? _____

- Nur wenige Elektronen werden durch den Basisanschluss abfließen, der große Anteil gelangt in die _____ (Kollektorzone)
- Daraus folgt: Ein schwacher Basis-Emitter-Strom bewirkt einen _____.
(starken Kollektor-Emitter-Strom)

Arbeitstext-Abschnitt 7: Funktionsabläufe in Leuchtdioden

Leuchtdioden werden auch als LEDs bezeichnet. Erkläre diese Bezeichnung (siehe Abbildung 48)! *Licht emittierende Diode.*

_____. Welche Energie verwandeln sie in Strahlungsenergie? *Elektrische Energie.*

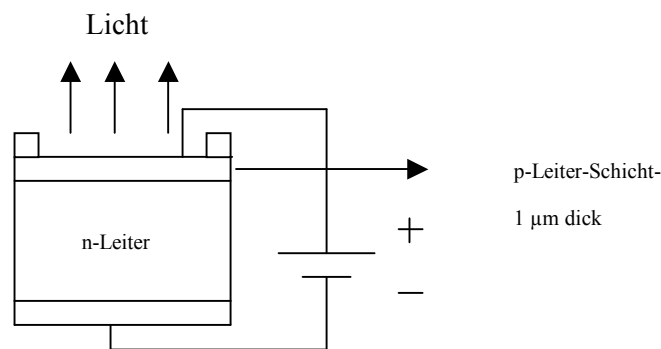


Abbildung 48: Aufbau einer Leuchtdiode

Welche Zone in der obigen Schaltskizze enthält in der Überzahl Elektronen? *Die n-Leiter-Schicht.* Welche Ladungsträger sind vornehmlich in der p-Zone vorhanden? *Vornehmlich „Löcher“.*

Was wird im Inneren der Leuchtdiode geschehen, wenn die von außen angelegte Spannung die Schleusenspannung übersteigt? *Elektronen werden sich aus der n-Zone in die p-Zone bewegen und dort vorhandene „Löcher“ besetzen.*

Elektronen aus einer Atombindung zu lösen, erfordert einen Energieaufwand. Diese wird in Form von Licht bestimmter Wellenlänge (Farbe) wieder frei, wenn sich ein bewegendes Elektron wieder in einen Atomverband eingliedert. Bei jeder Rekombination (Wiedereingliederung eines Elektrons) wird entsprechend dem verwendeten Halbleitermaterial und dessen Dotierung Licht entstehen, das durch die dünne p-Schicht nach außen gelangen.

In unseren Schülerversuchen konnten wir die Farben: *rot, gelb, grün und blau* erzeugen. Leuchtdioden werden immer in *Durchlassrichtung* betrieben. Ihre Durchlass-Spannung beträgt im Schnitt 1,5 Volt.

Darüberhinaus müssen sie durch einen *Vorwiderstand* vor Überlastung und in der Folge Zerstörung geschützt werden.

Bei einer gewünschten und zulässigen Durchlass-Stromstärke von 20 mA und einer äußeren Spannung von 5V muss dieser etwa welchen Wert annehmen?

Rechne! Lösung:
$$\frac{5V - 1,5V}{0,02A} = 175 \Omega$$

Arbeitstext-Abschnitt 8: Die Entstehung von elektrischen Spannungen in Solarzellen

Solarzellen verwandeln *Lichtenergie* in *elektrische Energie*. Bei maximaler Umwandlung liefert eine Zelle etwa 0,5 Volt Spannung. Zur Erreichung höherer Spannungen müssen Solarzellen *in Reihe* geschaltet werden. Mit parallelgeschalteten Zellen lassen sich *höhere Stromstärken* erzielen.

Aufbau einer Solarzelle: (siehe Abbildung 49)

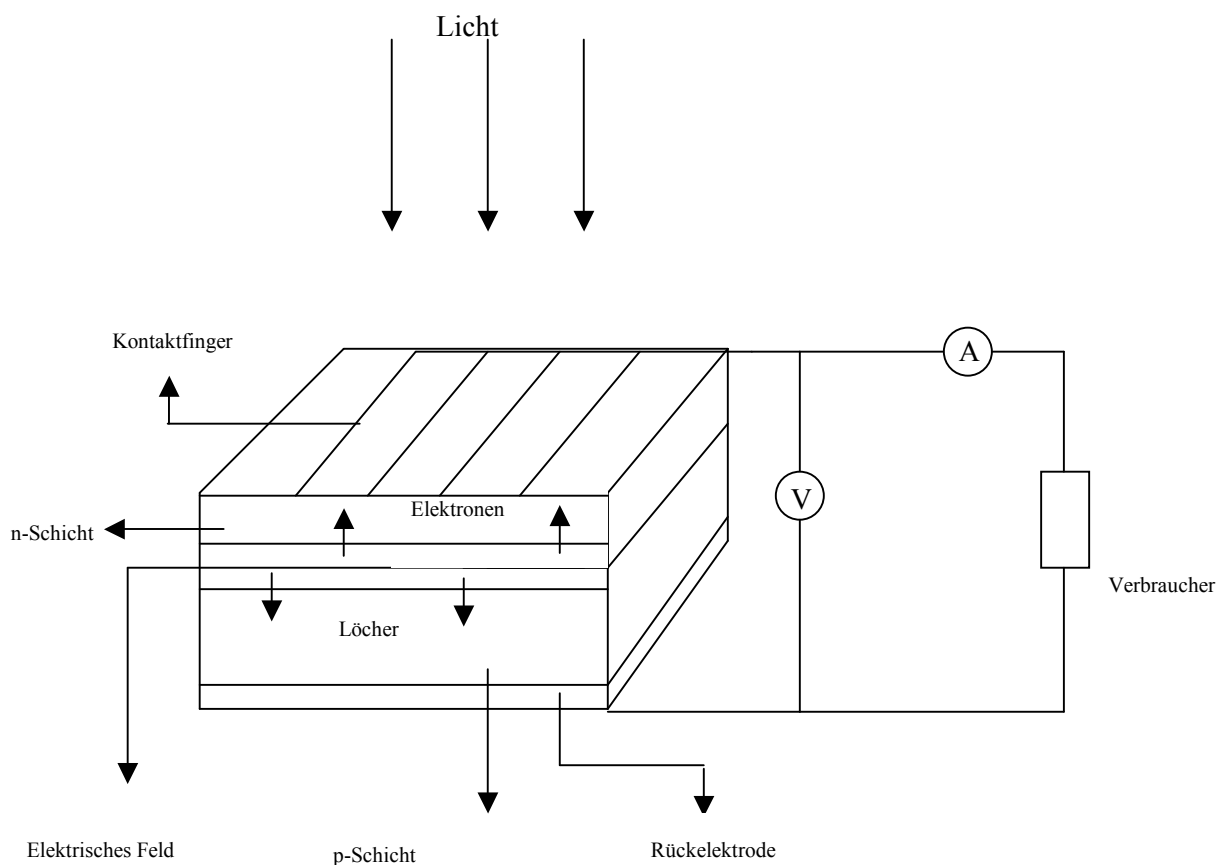


Abbildung 49: Aufbau einer Solarzelle

Funktionsabläufe in der Solarzelle:

Licht erzeugt in der Sperrschicht der Solarzelle Ladungsträger, das heißt *Elektronen und Löcher*. Das innere elektrische Feld zieht die negativ geladenen Elektronen auf Grund der festen positiven Ladungen im n-Leiter in diese Schicht. Die Löcher werden wegen der festen negativen Ladungen im p-Leiter in die p-Schicht gedrängt. Auf diese Weise entsteht eine innere elektrische Spannung, auch Fotospannung genannt. Die *Energie des Lichtes* wird also in *elektrische Energie* verwandelt. Diese kann an der Ober- und an der Unterseite abgenommen werden und an Verbraucher weitergeleitet werden. Die Kontaktfinger an der Oberseite stellen *den Minuspol* dar, die Rückelektrode ist der *Pluspol*.

7. Darstellung und Auswertung einer Schülerbefragung zur im Physikunterricht erarbeiteten elementaren Halbleitertechnik

Nicht nur über den Umfang des im Unterricht erfahrenen Wissens in der elementaren Elektrizitäts- und Halbleiterlehre gibt ein Fragetest Auskunft, der im Anhang der vorliegenden Untersuchung angefügt ist, sondern vor allen Dingen darüber, wie Jugendliche die Art und Weise der Vermittlung der Inhalte beurteilen. Der Fragebogen wurde am Ende des Schuljahres 2010 den Schülerinnen und Schülern der neunten Klassen in der August-Wöhler-Realschule in Soltau vorgelegt. Es galt insbesondere zu erkunden, wie der Einsatz der extra gefertigten Arbeitsplatinen von den Lernenden eingeschätzt wurde. Ergänzend sollte festgestellt werden, welche Bedeutung neuen Kenntnissen in der Halbleiterlehre beigemessen wird, ob zudem mehr eigenem experimentellem Erkunden oder einem stärker theoretisch geprägten Unterricht, unterteilt durch Demonstrationsversuche, mehrheitlich der Vorzug gegeben werden sollte.

Die anfängliche notwendige Vermittlung von Grundkenntnissen in der elementaren Elektrizitätslehre schränkte in dem vorgesehenen Zeitrahmen eines Halbjahres die Erarbeitung geplanter halbleiterischer Wissensinhalte sehr ein. Um dennoch zu ersten hilfreichen methodisch-didaktischen Aussagen zu gelangen, teilte der Unterrichtende wesentliche Inhalte der Halbleitertechnik auf zwei Klassengruppen auf. Das bedeutete, dass bedauerlicherweise nicht alle Schüler alle Inhalte erfuhren. Insgesamt wurden 114 Schüler und Schülerinnen in fünf Klassen befragt. In der Auswertung der Schülerantworten muss einschränkend bedacht werden, dass in den einzelnen Klassen nicht alle vorgesehenen Inhalte bearbeitet und daher auch nicht alle gleichermaßen beantwortet werden konnten. Auffällige Zahlenunterschiede in den Klassen sind durch diesen Umstand zu erklären. Die in den Auswertungen angegebenen Zahlen beziehen sich auf tatsächlich gemachte Antworten.

Die Auswertungen der Schüleraussagen erfolgten zunächst quantitativ und anschließend qualitativ.

7.1. Quantitative Auswertung der Schülerbefragung zu Versuchen in der elementaren Halbleitertechnik

Frage 1: Welche Schaltelemente und Geräte zur Halbleitertechnik hast Du im zurückliegenden Halbjahr kennen gelernt ?

Antworten:

Schaltelement	Klasse 9a	Klasse 9b	Klasse 9c	Kasse 9d	Klasse 9e
Halbleiterdiode	18	2	17	2	17
LDR-Widerstand	14	-	9	-	7
NTC-Widerstand	17	2	10	-	5
Ohmscher Widerstand	19	18	21	17	3
Multimeter	13	10	13	7	19
Gleichstrom-Versorgungsgerät.	5	3	1	1	6
Schalterelemente	6	2	3	1	7
Potentiometer	18	3	20	--	12
Leuchtdiode	2	19	1	4	-
Transistor	2	5	5	-	4
Solarzelle	-	7	-	7	-
Oszilloskop	-	1	-	-	6
Geig.- Müller- Zähl.	1	-	-	-	2

Abbildung 50: Im Unterricht kennengelernte elementare Schaltelemente

Der Größe der Tabellenwerte (siehe Abbildung 50) ist zu entnehmen, dass Schaltelemente und Geräte, die im Unterricht aller Klassen intensiver angesprochen und auch in Schülerversuchen in ihren Funktionen unmittelbar erlebt wurden, stärker im Bewusstsein der Jugendlichen haften geblieben sind. Das sind vor allem die Ohmschen Widerstände und die Multimeter. Gleiches gilt für die Halbleiterdioden, die LDR- und NTC-Widerstände, die Gleichstromversorgungsgeräte und die Potentiometer, mit denen die Schüler Versuche ausführen konnten. Eine intensivere Auseinandersetzung mit Leuchtdioden fand in der Klasse 9b statt.

Bemerkenswert ist der Umstand, dass Geräte wie das Oszilloskop, der Geiger-Müller-Zähler, die trotz ihrer vielfältigen Eigenschaften umfangreiche Einsatz- und physikalische Aussagemöglichkeiten bieten, weniger

häufig genannt wurden. Diese Geräte konnten im Soltauer Unterricht nur in Demonstrationsversuchen den Schülerinnen und Schülern vorgeführt werden.

1. Schlussfolgerung:

Welche Einsichten lassen sich zusammenfassend aus den Schülerantworten ziehen?

Schaltelemente, mit denen die Jugendlichen häufiger selbst im Unterricht unmittelbar Kontakt hatten, deren Funktionen selbst beeinflussen und erleben konnten, wurden in größerer Mehrheit angeführt. In Demonstrationsversuchen vorgeführte Geräte, wie der Geiger-Müller-Zähler oder das Oszilloskop, fanden trotz überzeugender Aussagekraft der mit ihnen durchgeführten Versuche offensichtlich eine geringere Resonanz. Es drängt sich der Verdacht auf, dass theoretisch gewonnene Erkenntnisse bei lernenden Jugendlichen weniger tief und bleibend im Bewusstsein verankert werden.

Physikunterricht sollte daher aus den genannten Gründen nicht auf die Ausführung von Schülerversuchen verzichten, wenn er nachhaltig wirken soll.

Frage 2: Wie beurteilst Du in der Rückschau das von Dir erworbene neue Wissen?

Antworten: Siehe Abbildung 51

Klasse	Sehr positiv	Teilweise positiv	Begründung (positiv)	Nein (negativ)
9a	21	2	4 Schüler: (hilfreich,nützlich)	1 Schüler (nicht verstanden)
9b	20	1	3 Schüler: (lebensnah)	2 Schüler (überflüssig)
9c	16	3	3 Schüler: (sehr sinnvoll)	4 Schüler (unnütz)
9d	15	3	6 Schüler (praxisnah, wichtig)	3 Schüler (ich mag Physik nicht)
9e	18	5	2 Schüler (verständlich)	(keine negative Bewertung)

Abbildung 51: Neues Wissen im Schülerurteil

Auswertung unter Einschluss der ergänzend gemachten Schüleranmerkungen:

Gewünscht werden ein verständlich geführter, informativer, experimentell ausgerichteter Physikunterricht mit Bezug zur Lebensrealität.

Frage 3: Welche Unterrichtsform bevorzugst Du? Die durch Schülerversuche, die durch Demonstrationsversuche oder die mehr durch theoretische Darbietungen geprägte Form?

Antworten siehe Abbildung 52

Klasse	Schülerversuche	Demonstrationsversuche	Beide Formen nebeneinand.	Theoretisch ausgeri. Unterr.
9a	19	3	-	5
9b	18	3	-	6
9c	22	3	-	3
9d	16	1	2	1
9e	19	2	-	3

Abbildung 52: Bevorzugte Unterrichtsform

Auswertung: Soltauer Schülerinnen und Schüler geben in großer Zahl Schülerversuchen den Vorzug.

Frage 4: Erleichtern Arbeitsplatten das Verstehen halbleiterischer Vorgänge?

Antworten siehe Abbildung 53

Klasse	ja	teilweise	nein	Begründung(positive Einschätzung)
9a	24	1	-	übersichtlich
9b	21	1	2	einfach zu bedienen
9c	15	1	6	ermöglichen Eigentätigkeit.
9d	11	4	3	Wirkungen werden sichtbar
9e	17	2	3	Keine Aussage

Abbildung 53: Beurteilung der Arbeitsplatten

Auswertung: Der Einsatz von Arbeitsplatten im Physikunterricht wurde von Soltauer 9. Klässlern mehrheitlich bejaht.

Frage 5: Lernen mit anderen in der Gruppe?

Antworten siehe Abbildung 54

Klasse	ja	teilweise	nein	Begründung
9a	15	5	3	Gegenseitige Unterstützung
9b	16	4	2	Nur in kleinen Gruppen ja
9c	19	4	2	Lieber allein- nein
9d	12	5	8	Keine Aussage
9e	17	1	2	Keine Aussage-

Abbildung 54: Lernen in Gruppen?

Auswertung: Soltauer Schüler und Schülerinnen bevorzugen in großer Zahl die Zusammenarbeit mit anderen in kleinen Gruppen.

Frage 6: Lassen sich die Platinen verbessern? Antworten siehe Abbildung 55

Klasse	ja	teilweise	wie?	nein
9a	2	-	stabiler bauen	12
9b	-	-	-	19
9c	3	-	Schaltpläne besser beschriften,	15
9d	2	1	Platinen größer erstellen	9
9e	3	-	Kabel einheitl. in der Farbgebung wählen	13

Abbildung 55: Platinen verbessern

Auswertung: Zweifelsohne sollten für weitere Schülerversuche die gemachten Vorschläge beachtet werden. Es gilt jedoch auch zu bedenken, dass zu viele Hilfen den Reiz des eigenen Untersuchens mindern. Das aber sollte unbedingt vermieden werden.

Frage 7: Beurteilung meines neuen manuellen Könnens.

Antworten siehe Abbildung 56

Klasse	Manuelles Können verbessert	Manuelles Können nicht verbessert
9a	17	1
9b	14	2
9c	10	6
9d	15	3
9e	20	-

Abbildung 56: Beurteilung manuellen Könnens

Auswertung: Das Messen mit einem funktionellen Messinstrument, der Aufbau einer Reihen- oder auch Parallelschaltung, der Umgang mit einem Stromversorgungsgerät und damit das Erleben, selbst Versuche aufbauen und auch eigenständig Ergebnisse ermitteln zu können, haben sicherlich entscheidend zum dargestellten Ergebnis beigetragen.

Frage 8: Beurteilung des erworbenen Wissens in der elementaren Halbleitertechnik:

Antworten siehe Abbildung 57

Klasse	positiv	Weiß nicht, teilweise	Unwichtig, brauche Physik nicht
9a	20	-	-
9b	16	3	1 (Physik interessiert mich nicht)
9c	14	-	2 (ich brauche Physik nicht)
9d	13	3	1
9e	12	6	-

Abbildung 57: Beurteilung des erworbenen Wissens zur Halbleitertechnik

Auswertung: Die positive Einschätzung des erworbenen Wissens zur Elektronik durch die überwiegende Zahl der Schülerinnen und Schüler ist mit hoher Wahrscheinlichkeit sowohl der Aktualität des Themas als auch der erlebten Gestaltung des Unterrichtes zu verdanken.

7.2. Qualitative Auswertung der Schülerbefragung zu Versuchen in der elementaren Halbleitertechnik

Die qualitative Auswertung des unter den Soltauer Jugendlichen durchgeführten Befragungstestes, in dem deren Aussagen zu elementaren halbleiterischen Experimenten unter Zuhilfenahme von Arbeitsplatten erkundet wurden, bietet über die quantitative Analyse hinaus die Möglichkeit, ergänzende Erklärungen für die Gestaltung des Physikunterrichtes aufzuspüren. Diese sind insbesondere geeignet, Begründungen aus Schülersicht für künftiges, Fehler vermeidendes, erfolgreicherer methodisch-didaktisches Vorgehen zu erkennen, zu stützen und dadurch auch mögliche Lehrhilfen anzubieten. Ziel dieser Untersuchung ist natürlich, wenn möglich, zu allgemein gültigen Einsichten in der Auswertung zu gelangen. Die Antworten der Testfragen wurden von zwei Prüfern, unabhängig voneinander, festgestellt, dann eingeordnet und der Übereinstimmungswert zur Erlangung einer größeren Reliabilität beider Aussagen für die Aufgaben 2 bis 8 jeweils prozentual durch errechnete Kappa-Werte nach der Cohens-Gleichung ermittelt.

Die Testfragen erforderten insgesamt eine offene Beantwortung durch die Befragten. Da mit der ersten Frage allein die Quantität der von den Schülerinnen und Schülern erinnerten halbleiterischen Schaltelemente ermittelt werden sollte, war es sinnvoll, die zugehörigen Antworten bereits im vorausgehenden Abschnitt der quantitativen Auswertung zuzuordnen.

Für die übrigen Fragen wurden entsprechend der Anleitungen zur qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (Mayring, 2005, Seite 13) und Bortz (Bortz, 2009, Seite 329) etwa inhaltsgleiche und aussagekräftige Schüleraussagen in Gruppen zusammengefasst. Es galt sodann, diese entsprechend ihrer Häufigkeit zu ordnen und dann ihre Anteile in Diagrammen prozentual darzustellen. Zur Erreichung einer größeren Nähe an die Gedankenwelt der Schüler und Schülerinnen und damit eines besseren und tieferen Verständnisses ihrer Aussagen wurden typische Antworten der Jugendlichen in der Endauswertung der Schüleraussagen einer Frage beziehungsweise im Anschluss an die Titel der einzelnen Kategorien angefügt.

Im Folgenden sind induktiv zu den verbleibenden sieben Testfragen jeweils Kategorien gebildet worden. Zur Gewinnung einer genaueren Kenntnis und eines besseren Verständnisses der entsprechenden Schüleraussagen sind jeweils einige repräsentative Antworten angefügt worden. Insgesamt lagen den Auswertungen unterschiedliche Zahlen an Antworten vor, weil nicht immer alle Fragen beantwortet wurden. Diese sind jedoch jeweils in den Fragestellungen angegeben. Die Prozentangaben beziehen sich auf diese Werte.

Frage 2 des Testes:

„Wie beurteilst Du in der Rückschau das von Dir erworbene Wissen? Hat es Dich bereichert, war es nützlich für Dich oder gar überflüssig? Begründe kurz Deine Antwort!“

Kategorien:

Kodierung:

1. Kategorie 1: Mein Grundwissen wurde erweitert: 38,8% (56) der Schülerantworten der Befragten bejahen diese Aussage;
2. Kategorie 2: Das im Unterricht vermittelte Wissen ist nützlich und hilfreich: 31,25% (45) der Antworten machen diese Aussage;
3. Kategorie 3: Die Wissensvermittlung im Unterricht war verständlich: 15,9% (23) der Antworten heben diese Aussage ausdrücklich hervor;
4. Kategorie 4: Das neue Wissen ist überflüssig. Ich werde es nicht gebrauchen: 13,8% (20) der Antworten der Jugendlichen führen zu dieser Aussage.

Gesamtzahl der Antworten dieser Frage: 144

Die Formulierungen in den vier genannten Kategorien stellen auf das Wesentliche reduzierte Kernantworten der Soltauer Schülerinnen und Schüler im Test dar.

Diagramm Auswertung der Frage 2: (siehe Abbildung 58)

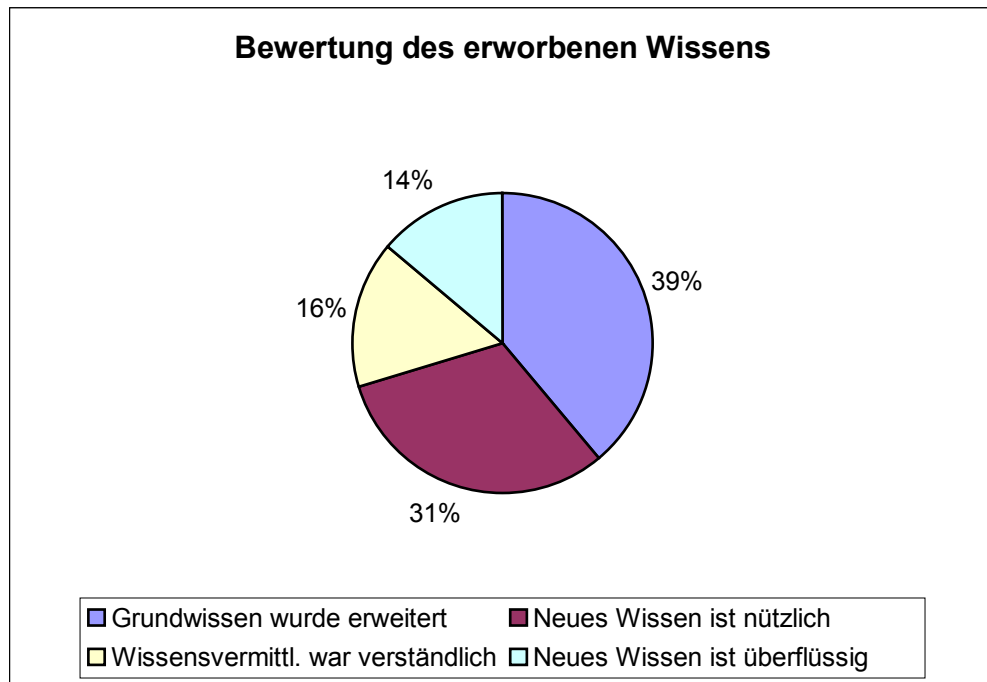


Abbildung 58: Bewertung des erworbenen Wissens

Bewertung der Aussagen:

Beachtlich ist die relativ große Zahl derjenigen Jugendlichen, deren Wissen im Unterricht erheblich bereichert werden konnte und die auch gewillt sind, im Blick auf ihre zukünftige Entwicklung sich um das Verstehen weiterer physikalisch-technischer Inhalte zu bemühen. Aufschlussreich sind daher, insbesondere für den Unterrichtenden, die folgenden Äußerungen:

- „Der Unterricht war sehr nützlich für mich. Ich habe viel Neues gelernt,“
- „Das erworbene Wissen war sehr wichtig für mich,“
- „Es war sehr hilfreich für mich,“
- „Ich fand das Halbleiterthema sehr interessant, es ist für die Zukunft sehr wichtig“,
- „Jetzt verstehe ich viel besser,“
- „Ich fand es nützlich, da es auch im Alltag vorkommt und es ist nicht so wissenschaftlich,“
- „Das praktische Arbeiten mit den Platinen war eine sehr große Hilfe, aber auch die Darstellung der Theorien war sehr verständlich,“
- „Man kann alles berechnen und jetzt versteht man es auch,“
- „Ich denke, dass ich das Gelernte auch später gut gebrauchen kann,“
- „Es war nützlich, da man alles sehen und anfassen konnte,“

- „Ich weiß jetzt mehr. Der Unterricht war spannend,“
- „Der Unterricht hat Spaß gemacht,“
- „Für später ist es eine gute Hilfe,“
- „Mit den Platinen hat man den Unterricht theoretisch und praktisch besser verstanden,“
- „Jetzt verstehe ich, was es mit den Solarzellen auf sich hat,“
- „In einigen Stunden hat mich die Physik richtig mitgezogen,“
- „Der Physikunterricht war für mich sehr lehrreich,“
- „Jetzt verstehe ich die Elektrizität besser,“
- „Es war nützlich und informativ,“
- „Vorher habe ich mich nicht so sehr für Physik interessiert, aber wenn man so überlegt, hat Physik mit vielen Sachen, die wir im Leben machen, was zu tun. Ich habe einiges dazu gelernt,“
- „Der Unterricht war wunderbar und unvergesslich,“
- „Physik ist auch ganz schön kompliziert,“
- „Ich habe vieles Neue dazu gelernt. Vieles wusste ich gar nicht.“

Einen geringen, aber dennoch nicht zu vernachlässigenden Anteil bildet die Zahl derjenigen Jugendlichen, die der Meinung anhängen, physikalisch-technische Kenntnisse seien für sie nicht notwendig. Anstrengungen für ihren Erwerb in diesem Fach erübrigten sich für sie daher. Auch hier seien zum besseren Verständnis der inneren Ablehnung einige typische und aufschlussreiche Schülerantworten angeführt:

- „Es hat Spaß gemacht, aber trotzdem verstehe ich das nicht,“
- „Es war interessant, aber manchmal zu viel auf einmal,“
- „Nein, es hat mich nicht bereichert, weil ich der Meinung bin, die Themen nicht zu brauchen,“
- „Ich habe es nicht richtig verstanden,“
- „Ich weiß, dass Physik nützlich ist, aber ich mag Physik nicht,“
- „Physik ist total überflüssig,“
- „Ich brauche Physik nicht in meinem weiteren Leben,“
- „Physik interessiert mich nicht,“

- „Ob für mich Physik im weiteren Leben nützlich ist, weiß ich nicht. Ein Oszilloskop oder so werde ich wohl nie gebrauchen; wenn in meinem Haus später etwas kaputt geht, bestelle ich einen Fachmann,“
- „Physik ist nicht mein Lieblingsfach und ich verstehe grundsätzlich sehr wenig. Ich weiß aber jetzt, wofür alles gut ist.“

Natürlich stellen die angeführten Bemerkungen Anerkennungen, aber auch Herausforderungen für den Unterrichtenden dar. Wie kann es insbesondere gelingen, ablehnende Einstellungen Jugendlicher zur Physik zu überwinden? Kleinere Lerngruppen, mehr Zeit für Gespräche im Physikunterricht, eine größere Unterstützung bei der Ausführung von einfachen und erfolgreichen Versuchen zur Steigerung des Selbstwertgefühles der Experimentierenden wären sicherlich ein erster Schritt zum Erfolg.

Frage 3 des Testes:

„Neben den Schülerversuchen mit den Arbeitsplatinen gab es auch Arbeitsphasen, in denen nur erklärt beziehungsweise in Demonstrationsversuchen physikalische Sachverhalte erarbeitet wurden. Welche Unterrichtsform bevorzugst Du? Erkläre kurz!“

Kodierung:

1. Kategorie 1: Schülerinnen und Schüler bevorzugen die Durchführung von Schülerversuchen; in 89 Antworten, 62 %, wird diese Aussage gemacht;
2. Kategorie 2: Schülerinnen und Schüler geben Mischformen aus praktischer Schülertätigkeit und theoretischer Unterweisung den Vorzug; in 27 Antworten, 19%, kommt diese Aussage zum Ausdruck;
3. Kategorie 3: Schülerinnen und Schüler geben der theoretischen Darstellung von physikalischen Sachverhalten den Vorzug; in 16 Antworten, 11%, wird diese Unterrichtsform bevorzugt,
4. Schülerinnen und Schüler bevorzugen Demonstrationsversuche; in 12 Antworten, in 8%, wird diese Unterrichtsform bevorzugt.

Gesamtzahl der Antworten: 144

Diagramm-Darstellung zur Frage 3: (siehe Abbildung 59)

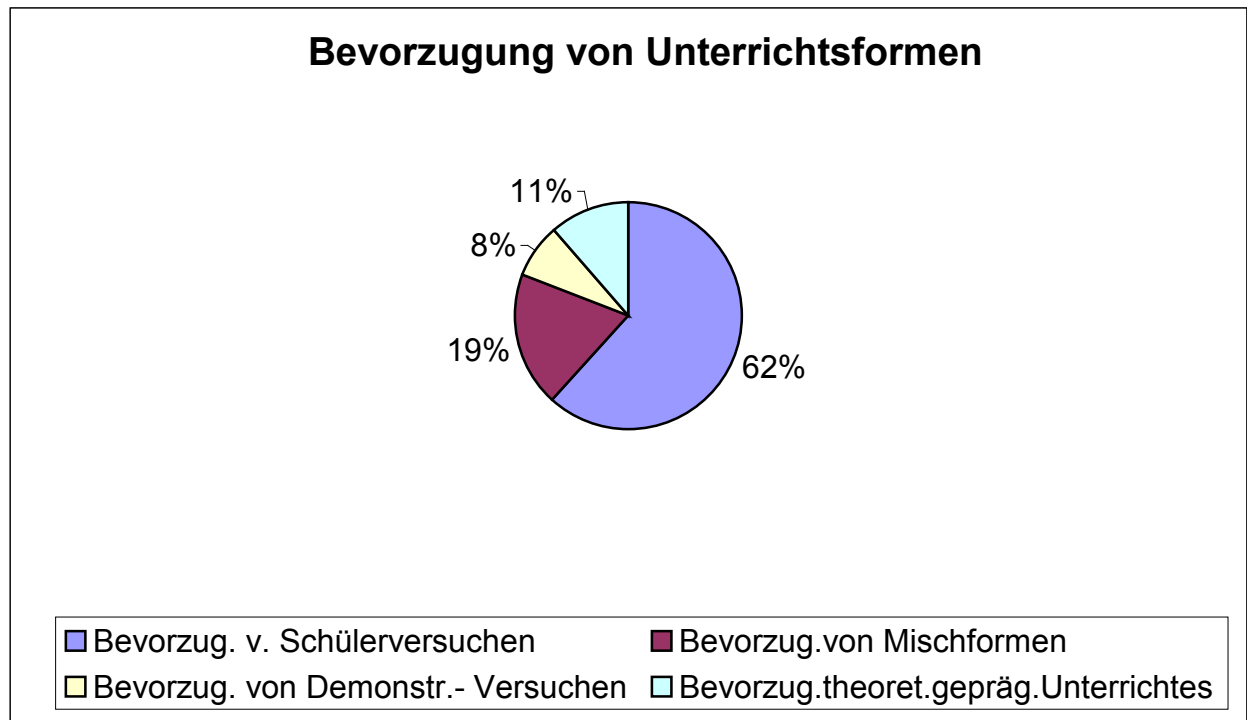


Abbildung 59: Bevorzugung von Unterrichtsformen

Detaillierte Beschreibungen der Kategorien:

Kategorie 1:

In der Reihenfolge der Häufigkeit ihrer Nennung sind die Kategorien 1 bis 4 aufgeführt. In sehr großer Zahl führen die Jugendlichen gern selbst Versuche durch. Als Merkmale für diese Arbeitsweise führen sie vornehmlich die folgenden Gründe an:

- „Selbst etwas ausprobieren zu können spornt an,“
- „Man kann unmittelbar sehen, was passiert,“
- „Mein Verständnis für Vorgänge ist tiefer verankert,“
- „Ich kann selbst sehen und prüfen, was passiert,“
- „In Gruppen kann man einander helfen,“
- „In kleineren Gruppen kann man aktiver sein,“
- „Schülerversuche lassen keine Langeweile aufkommen.“

Kategorie 2:

Eine geringere Zahl von Schülerinnen und Schülern hebt als Vorteil der induktiven und deduktiven Lehr- und Lernweise, also einer Mischform beider Lehrverfahren, ein tieferes Verstehen und damit einen besseren Zugang zu physikalisch-technischen Vorgängen hervor. Vorgänge zu erleben und dann diese zu verstehen, das ist nach dieser Meinung eine optimale Unterrichtsform. Der Wechsel beider Unterrichtsformen vermeidet nach ihrer Meinung zudem Eintönigkeit und Langeweile.

Kategorie 3:

Nicht unerwähnt, wenn auch in geringerer Zahl, dürfen schließlich Schüleräußerungen bleiben, die allein theoretischen Darstellungen den Vorzug geben. Diese seien verständlicher und ließen sich daher leichter merken.

Kategorie 4:

Demonstrationsversuche bieten nach Ansicht einer geringeren Schülerzahl den Vorteil, unmittelbar, meist aus dem Munde des Lehrers, richtige und verständliche Erklärungen zu erfahren. Der Umfang des Erlernten ist auch größer.

Frage 4 des Testes:

„Arbeitsplatten stellen im Unterricht eine besondere Form von Schülerversuchen dar. Haben sie Dein Erlernen und Verstehen von neuen physikalischen Sachverhalten erleichtert? Begründe Deine Aussage!“

Unter insgesamt 115 Antworten gab es 93 bejahende, (80,9%), 8 teilweise bejahende, (7%), und 4 verneinende Aussagen (3,5%). In 10 Fällen, (8,7%), wurde die Frage 4 nicht beantwortet. (s. Abbildung 60)

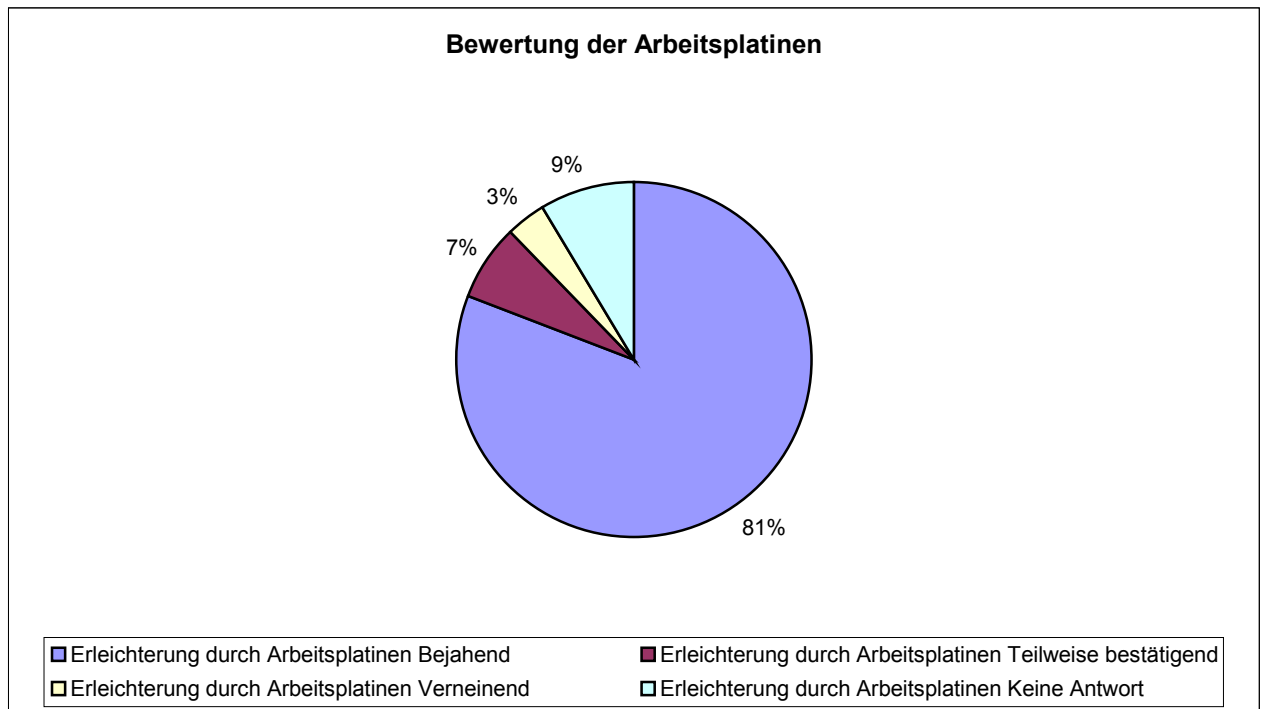


Abbildung 60: Bewertung der Arbeitsplatten

Diagramm-Darstellung zur Frage 4:

Die Schülerantworten lassen sich, abgesehen von wenigen Ausnahmen, in sehr großer Mehrheit mit den folgenden Feststellungen zusammenfassen:

Kategorie 1: Die Arbeitsplatten mit ihren Aufbauten vermitteln schnell eine Anschaulichkeit der halbleiterischen Elemente.

Schüler beantworteten die Frage wie folgt :

- „Ja, weil ich durch die Platinen mir einiges besser vorstellen konnte,“
- „Ja, hat sich vereinfacht, weil ich es sehen konnte, was da geschieht,“
- „Ja, das haben sie, denn man konnte es sich damit deutlicher machen,“
- „Es hat das Lernen erleichtert, da man eine reale Schaltung gesehen hat, womit man sehen kann, wie es so etwas Ähnliches im Haushalt geben könnte,“
- „Ja, weil man selbst alles sehen und ausprobieren konnte.“

Kategorie 2: Selbst Schaltungen zu erkunden und diese in ihrem Aufbau zu vollenden, bewirkt eine erhöhte Aktivität und Mitarbeit der Jugendlichen im Unterricht.

- „Ja, so konnte man das Erlernte gleich umsetzen,“
- „Ja, weil man sich den Schaltplan dann besser vorstellen kann und es selber ausprobieren kann, wie was geht,“
- „Ja haben sie, weil es etwas völlig anderes ist als Theorie. Man kann alles anfassen und besser begreifen,“
- „Ja, die Platinen haben das Lernen auf jeden Fall leichter gemacht, weil man so besser mitarbeiten und auch mehr ausprobieren konnte.“

Kategorie 3: Schaltungseingänge selbst beeinflussen zu können und dann unterschiedliche Auswirkungen wahrzunehmen, das steigert das Interesse an der Physik.

Schüler antworten folgendermaßen:

- „Ja hat es, denn es ist nicht dieses elendige Lernen, man kann auch praktisch etwas erfahren und gibt dem Unterricht pepp,“
- „Ja, weil man selber an den Platinen arbeitet,“
- „Ja, haben sie, weil man die vorher komplizierten Schaltskizzen mit Platinen besser verstand,“
- „Ich wusste zuvor nicht, wozu Platinen dienen, aber dank der Schülerversuche, die wir gemacht haben, kann ich es jetzt viel besser.“

Kategorie 4: Versuche mit den vorbereiteten Arbeitsplatinen sind überschaubar, einfach zu vollziehen und erleichtern damit das Verstehen physikalischer Sachverhalte.

Schüler äußern:

- „Ja, haben sie. Sie sind einfach zu bedienen und einfach zu verstehen,“
- „Ja, durch die Veranschaulichung versteht man schneller,“
- „Ja, denn sie sind sehr übersichtlich,“
- „Erst war es schwer, aber wenn man dann richtig geschaut hat, haben die Platinen viel gebracht,“
- „Ich habe viel dazu gelernt,“
- „Ja haben sie, da man mit Spaß, was man beim Arbeiten mit den Platinen hatte, schneller und besser lernt.“

Schlussfolgerung:

Der Einsatz von schnell handhabbaren Arbeitsplatinen bei der Durchführung von Schülerversuchen im Physikunterricht fördert die Unterrichtsarbeit erheblich. Die halbwegs vorbereiteten Stromkreise mit fest montierten Schaltelementen auf diesen veranlassen Jugendliche zu genauerem Hinsehen, vermeiden weitestgehend das Erstellen falscher Anschlüsse und auch oftmals den Verlust von relativ kleinen Schaltelementen, deren Suche zeitraubend wäre. Sie ersparen dem Unterrichtenden auf diese Weise zusätzliche Anweisungen und Erklärungen an die Klasse und sichern damit in hohem Maße einen störungsfreien und lernergiebigeren Unterrichtsverlauf. Das gilt insbesondere für den Unterricht in Klassen mit großen Schülerzahlen, in denen aus methodisch-didaktischen Gründen nicht auf Schülerversuche verzichtet werden soll.

Frage 5 des Testes:

Wie beurteilst Du das Lernen zusammen mit anderen?

Kodierung:

Die Schülerantworten lassen sich in vier Gruppen unterteilen:

Kategorie 1: Gruppenarbeit wird bejaht;

Schüleräußerungen:

- „Es macht Spaß, sich mit anderen auszutauschen und mit ihnen zu arbeiten,“
- „Ich finde es gut, weil man sich ergänzen kann,“
- „In der Gruppe lernen finde ich gut, weil Schüler noch anders er klären,“
- „Viele können einander helfen und das Verstehen erleichtern.“

Kategorie 2: Jugendliche arbeiten lieber allein;

Schüleräußerungen:

- „Positiv, aber man sollte es nochmal allein durchgehen,“
- „Das Lernen mit anderen kann hilfreich sein, aber ich arbeite lieber allein,“
- „Ich kann besser alleine lernen, weil ich mich dann besser konzentrieren kann,“
- „Das Lernen mit anderen ist nicht gut.“

Kategorie 3: Schüler und Schülerinnen bevorzugen beide Unterrichtsformen im Wechsel;

- „Es macht in Gruppen Spaß, aber alleine geht’s auch ganz gut!“

- „Verschieden, es kommt immer auf die anderen an, wie sie sich verhalten,“
- „Alleine ist es zwar besser, da man sich mehr konzentriert, aber mit einer Klasse ist es okay.“

Kategorie 4: Kleine Gruppen werden bejaht, große abgelehnt.

Schüleräußerungen:

- „Mit zu vielen arbeiten, bringt wenig, weil dann nicht alle mal die Platine in die Hand bekommen. Aber 2 bis 4 Leute pro Gruppe wären perfekt,“
- „In kleinen Gruppen ist es besser als in großen Gruppen,“
- „In kleinen Gruppen funktioniert das gut, in großen wegen schneller Ablenkung nicht.“

Zusammenfassende Begründungen für die Schülerentscheidungen:

Kategorie 1: Schülerinnen und Schüler unterstützen sich gegenseitig; Wissen wird unter den Lernenden ausgetauscht und ergänzt; unterschiedliche Meinungen werden deutlich und respektiert; (Aussage in 78 von 111 Antworten; 70%).

Kategorie 2: In der Alleinarbeit kann man sich besser konzentrieren, Störungen durch andere entfallen; Einigkeit im experimentellen Vorgehen ist in Gruppen nicht immer gegeben, (Aussage in 18 unter 111 Antworten; 16%).

Kategorie 3: Je nach Zielsetzung des Unterrichtes sollten beide Unterrichtsformen voneinander unterschieden werden, (Aussage in 6 von 111 Antworten; 5,4%)

Kategorie 4: Die Schülerzahlen in den Gruppen müssen begrenzt bleiben, um ruhiges, überlegtes Handeln zu sichern. (Aussage in 9 von 111 Antworten; 8,1%)

Das folgend dargestellte Diagramm (siehe Abbildung 61) stellt die Verteilung der Schülermeinungen unter 111 Schüleraussagen dar:

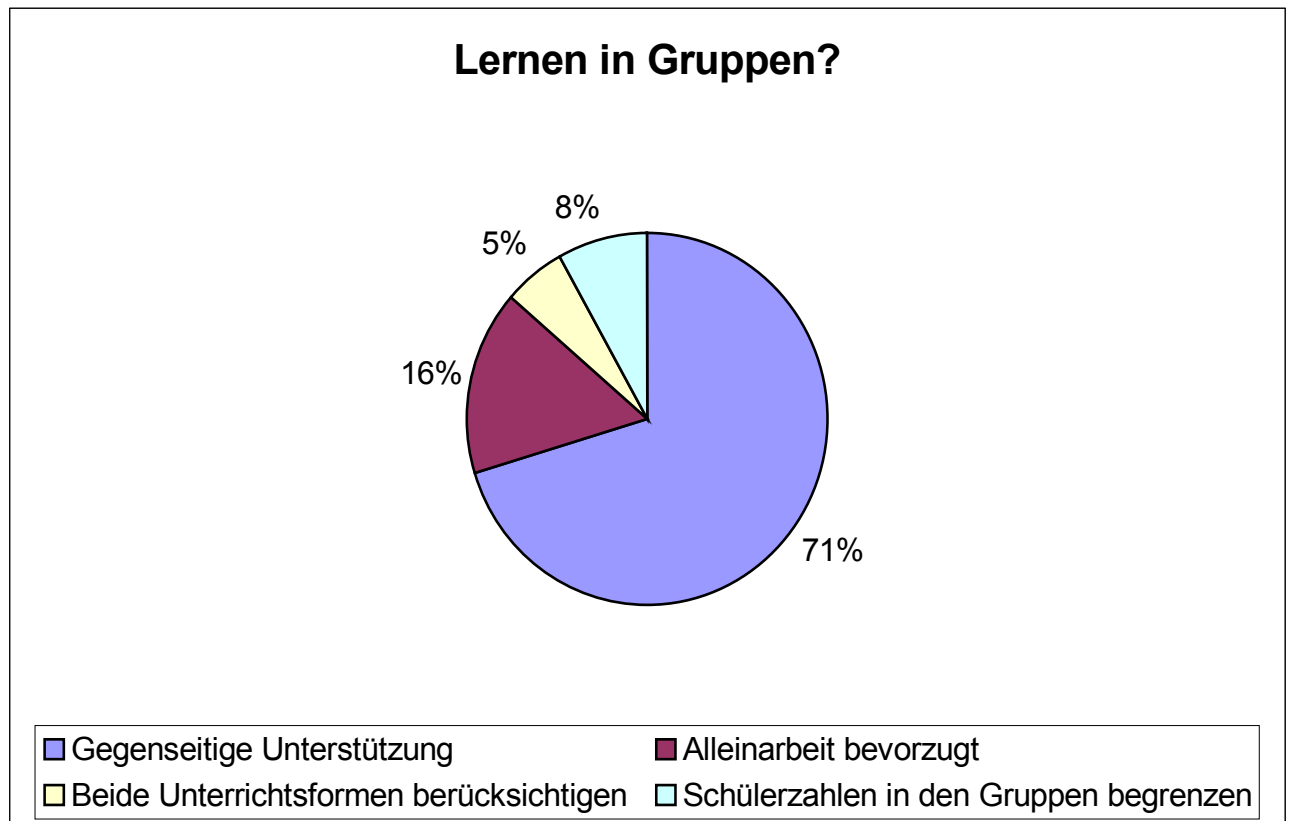


Abbildung 61: Lernen in Gruppen?

Schlussfolgerung: Die Anzahl der Schüler und Schülerinnen in Arbeitsgruppen sollte möglichst gering gehalten werden. Je nach Zielsetzung von Unterrichtseinheiten sollten Wechsel zwischen Allein- und Gruppenarbeit stattfinden.

Frage 6 des Testes:

Wie ließen sich nach Deinen Vorstellungen die Platinen im Interesse erfolgreicher Lernens verbessern?

Kodierung:

Kategorie 1: Die Platinen sollten nicht verändert werden;

Kategorie 2: Die Platinen sollten größere Ausmaße annehmen und stabiler gebaut sein;

Kategorie 3: Die Platinen sollten durch weitere Beschriftungen, durch einen vorgegebenen Schaltplan, durch einheitliche Farben der Verbindungsleitungen und der Buchsen gekennzeichnet werden;

Kategorie 4: Schülerinnen und Schüler machen keine Aussagen.

Nähere Erklärungen zu den Kategorien:

Kategorie 1: In 56 von 112 (50%) Aussagen entscheiden die Schülerinnen und Schüler, die Platinen wegen ihrer leichten Handhabbarkeit und ihrer Anschaulichkeit in ihrer jetzigen Form zu belassen. Sie ermöglichen

Schülerinnen und Schüler im Physikunterricht, selbst aktiv werden zu können, und erleichtern dadurch das Verstehen elementarer elektrischer und halbleiterischer Abläufe.

Kategorie 2: Größere Platinen wären übersichtlicher und stabiler, das meinen 10 Jugendliche (8,9%).

Kategorie 3: Ein leichter Zugang zum Schaltaufbau ließe sich durch eine einheitlichere Farbgebung der Schaltelemente erreichen, äußern 5 Lernende (4,4%).

Kategorie 4: 41 Jugendliche machen keine Angaben zu dieser Frage (36,6%).

Diagramm-Darstellung: (siehe Abbildung 62)

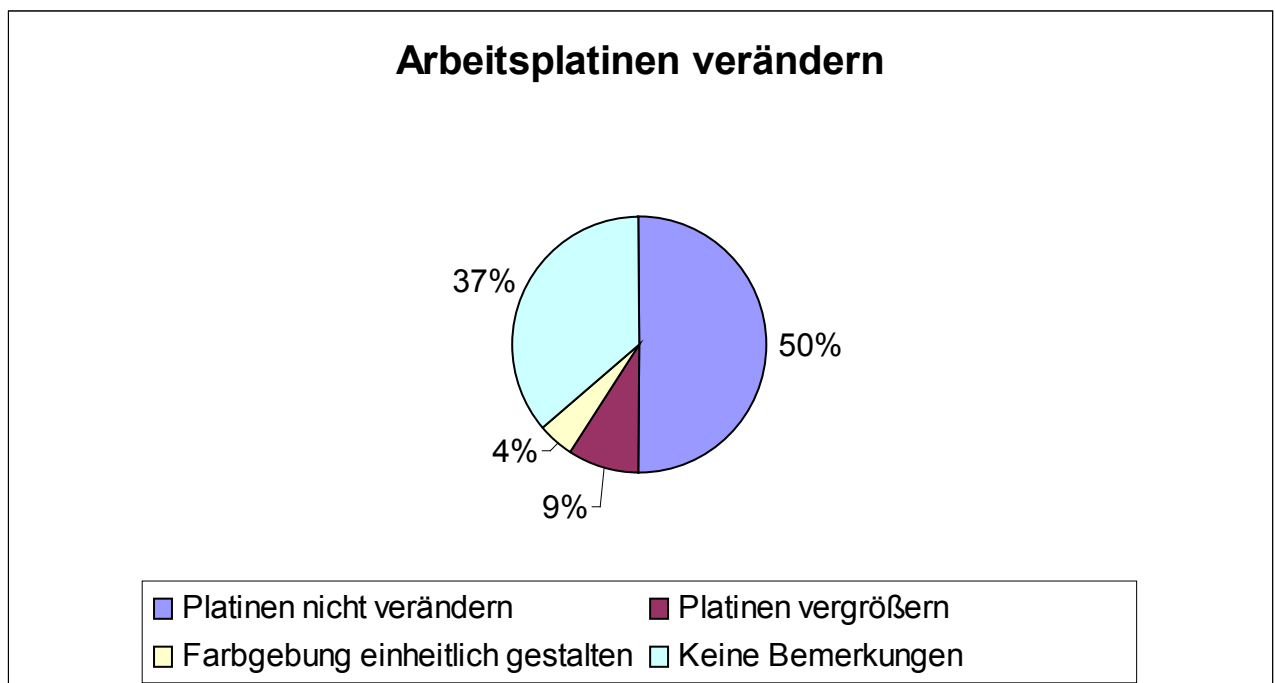


Abbildung 62: Arbeitsplatinen verändern

Endauswertung:

Zweifellos lassen sich die Arbeitsplatinen gemäß der Schülerhinweise verbessern. Die Stabilität, die Größe und schließlich auch eine einheitliche Farbgebung sollten im Interesse eines erhöhten Lerneffektes bei einer Neuerstellung des Lernmaterials berücksichtigt und auch umgesetzt werden. Das gilt insbesondere für den Unterricht in Klassen mit hohen Klassenfrequenzen, in denen die Durchführung von Schülerversuchen eine besondere Herausforderung darstellt.

Frage 7 des Testes:

Du hast im praktischen Umgang mit Widerständen, Gleichstromgeräten, Messinstrumenten und in dem Aufbau von Stromkreisen auch neue Fähigkeiten erworben. Wie beurteilst Du dieses neue experimentelle Können?

Kodierung:

Kategorie 1: Meine manuellen Fähigkeiten haben sich verbessert.

Unter 116 Antworten gab es 53 (45,6%) mit dieser Feststellung. Schülerinnen und Schüler äußerten sich zu dieser Frage etwa wie folgt:

- „Es ist jetzt viel leichter, mit Stromkreisen zurecht zu kommen,“
- „Ich denke, es wird mir in meinem Leben weiterhelfen und wird mir wieder begegnen,“
- „Ja, ich habe neue Fähigkeiten erlernt,“
- „Ich freue mich, mehr darüber zu wissen und interessiere mich dafür,“
- „Ich denke, ich habe viel gelernt, was ich später gebrauchen kann,“
- „Ich könnte 100 Punkte geben, da es mir das Lernen erleichtert hat,“
- „Ich habe viel gelernt und bin sehr zufrieden mit mir, dafür, dass ich vorher nichts verstanden habe,“
- „Es gehört zum Allgemeinwissen. Allerdings, alles braucht man davon auch nicht,“
- „Dieses Können ist spannend und hilfreich,“
- „Es hat Spaß gemacht und man konnte es besser verstehen.“

Kategorie 2: Mein experimentelles Können hat sich erheblich verbessert.

In 31 von 116 Antworten (26,7%) trafen Schüler und Schülerinnen die folgenden Feststellungen:

Schüleräußerungen:

- „Im Praktischen bin ich bereichert worden,“
- „Nun kann ich auch selbstständig einen Stromkreis aufbauen und musste es mir nicht mit Hilfe einer Skizze vorstellen,“
- „Ganz gut, weil ich jetzt selber sowas kann,“
- „Ich bin besser geworden und könnte mir bei Kleinigkeiten auch selbst helfen,“

Kategorie 3: Es wurde in 21 von 116 Fragebögen keine Antworten (18,1%) gegeben.

Kategorie 4: Ich habe nichts dazu gelernt, wird in 11 Antworten (9,5%) von 116 geäußert.

Diagramm- Darstellung: (siehe Abbildung 63)

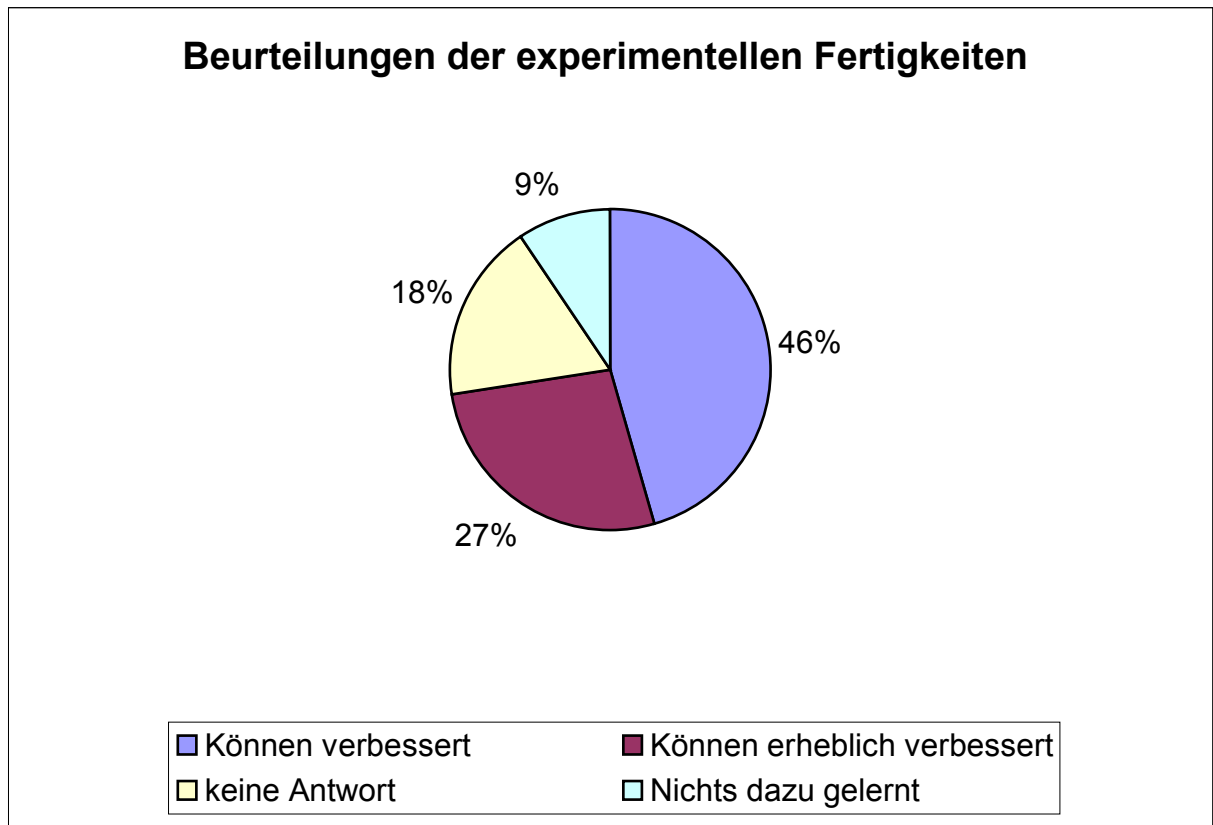


Abbildung 63: Beurteilung des experimentellen Könnens

Zusammenfassung:

Selbst Versuche zum Erkennen von Gesetzmäßigkeiten in der Elektrizitäts- und Halbleiterlehre durchgeführt zu haben, wird von einigen Jugendlichen besonders hervorgehoben. Dieser Umstand habe ihr Selbstwertgefühl gestärkt und sie für die Physik aufgeschlossener gemacht.

Frage 8 des Testes:

Wie beurteilst Du Dein neues Wissen zur Halbleitertechnik nunmehr?

Kodierung:

Kategorie 1: Ich habe sehr viel neues Wissen zur Halbleitertechnik erfahren. Auch hat es Spaß gemacht. Das äußern unter 108 Jugendlichen 39 (36%);

Die Jugendlichen äußern sich wie folgt:

- „Davor kannte ich nur wenig über die Halbleitertechnik und wusste nur vereinzelte Teile,“
- „Ich denke, dass ich jetzt sehr gut Bescheid weiß,“
- „Ich habe viel Neues gelernt,“
- „Ich freue mich, dass ich das gelernt habe, da ich mich schon länger dafür interessiere,“
- „Mein Wissen über die Halbleitertechnik ist besser geworden, aber Physik ist nicht mein Fach,“
- „Ich habe viel gelernt und kann viel mit nach Hause nehmen,“
- „Es ist ausreichend, da man für mehr Wissen eine längere Zeit braucht.“

Kategorie 2: Das neue Wissen ist für mich nützlich und hilfreich, das bringen unter 108 Jugendlichen 24 (22%) zum Ausdruck;

Weitere Schüleraussagen:

- „Der Unterricht war für mich recht aufschluss- und hilfreich,“
- „Ich habe nicht alles gut verstanden, aber trotzdem eigentlich ganz gut,“
- „Ich habe eine Menge neuer Sachen gelernt, die ich wahrscheinlich von alleine nicht lernen würde. Einen weiteren und größeren Einblick hätte ich gern,“
- „Ich habe viel gelernt und wusste teilweise nicht, dass es so etwas gibt,“
- „Es ist gut, dass ich darüber etwas erfahren habe,“
- „Ja, es ist ein gutes Gefühl zu wissen, dass man es verstanden hat,“
- „Ich denke, ich habe einiges behalten, doch manches vielleicht nicht. Doch das Größte ist hängen geblieben,“
- „Es ist verdammt nützlich, da viele Berufe solche Wissenskenntnisse benötigen,“
- „Es fällt mir nun leichter, die nächsten Schritte der Physik zu verstehen,“
- „Ich habe viel dazu gelernt und verstehe mehr von der Halbleitertechnik.“

Kategorie 3: Das Experimentieren unter Einsatz der Platinen haben mein Verständnis für die Halbleitertechnik erleichtert, das sagen 16 (14,8%) unter 108 Schülerinnen und Schüler;

Weitere, ergänzende Schüleraussagen:

- „Mein Wissen zur Halbleitertechnik ist besser, da die Platinen gut zu verstehen sind,“

- „Es geht, ich weiß zwar, wie es aufgebaut ist und funktioniert, aber ich könnte es nicht im täglichen Leben anwenden,“
- „Wissenswert und praktisch anwendbar,“
- „Es ist viel klarer, vorher wusste ich eigentlich nicht viel darüber,“
- „Gut, da ich genau diese Sachen später gebrauche und es mir gut beigebracht wurde,“
- „Ich beurteile mein Wissen als nicht so umfangreich. Ich hätte gern mehr Versuche zur Diode gemacht,
- „Es fällt mir leichter, das Fach Physik zu verstehen.“

Kategorie 4: Von 29 (26,8 %) unter 108 Jugendlichen wurden keine Aussagen gemacht.

Diagramm-Darstellung zur Frage 8: (siehe Abbildung 64)

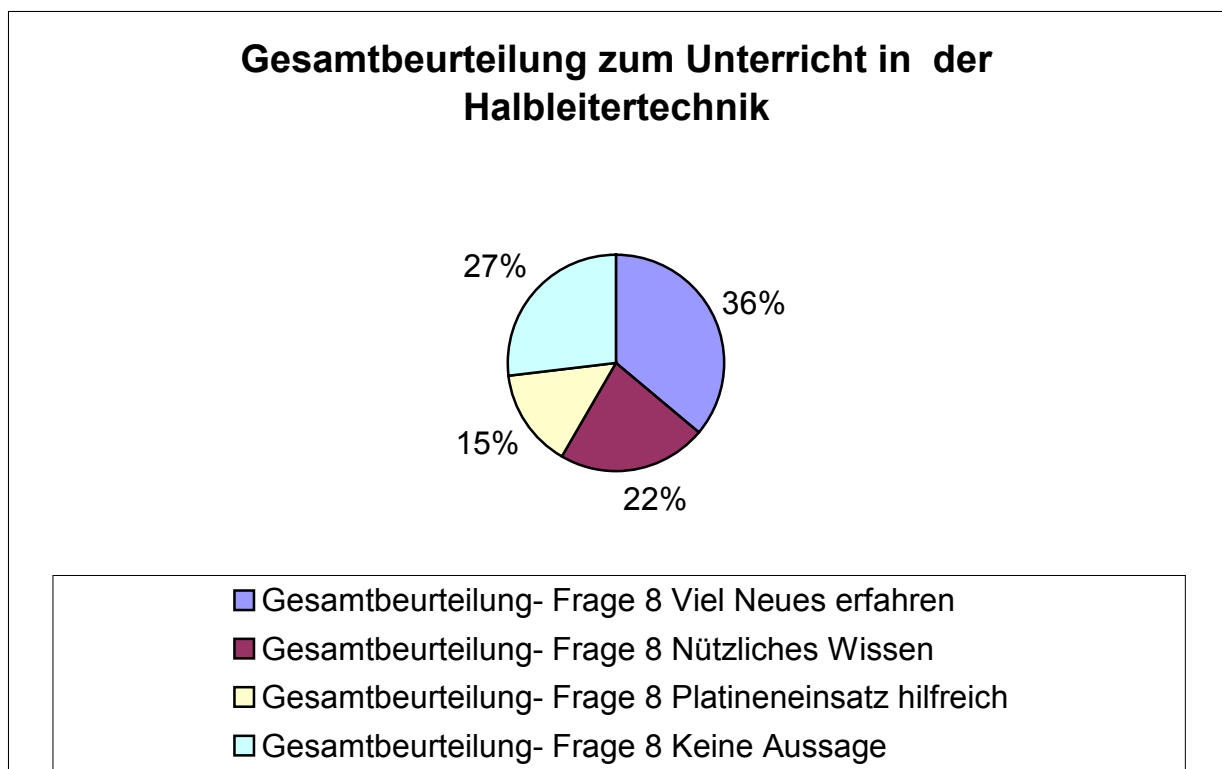


Abbildung 64: Gesamtbeurteilung zum Unterricht in der Halbleitertechnik

Zusammenfassung der Antworten zur Frage 8:

In den nicht angeführten Schüleraussagen, insgesamt genommen, bewerten die Lernenden den erlebten Unterricht zur elementaren Elektrizitätslehre und zur Halbleitertechnik so wie in den angeführten Beispielen durchaus in der Mehrzahl positiv. Dennoch geben nicht beantwortete Fragen und auch nicht vollends zufriedene Antworten dem verantwortungsbewussten Unterrichtenden Anlass zum genaueren Hinterfragen und Untersuchen der Ursachen.

In einigen Fällen wurde offensichtlich nicht der gesamte Inhalt des im Unterricht Erarbeiteten verstanden. Schüleraussage: „Das, was ich verstanden habe, beurteile ich gut; aber es gibt auch einige Unklarheiten bei mir.“ Dieser Umstand ist, trotz der immer wieder im Unterricht eingeräumten Möglichkeiten zu fragen und dadurch Unklarheiten zu beseitigen, bedauerlich.

Gewünscht wird auch, mehr Zeit im Physikunterricht zu haben. In einer Antwort heißt es: „Na ja, es geht, es wäre schön gewesen, wenn man mehr Zeit hätte, um sich damit auseinanderzusetzen.“

Schließlich konnte in wenigen Fällen die innere Ablehnung gegenüber der Physik nicht überwunden werden. Dass naturwissenschaftliches Wissen zunehmend ein wichtiger Teil der Allgemeinbildung ist, das zu erfassen, fällt einigen wenigen Lernenden ebenfalls schwer.

In welchem Maße die genannten Schwierigkeiten einiger Schülerinnen und Schüler überwunden werden können und damit eine Öffnung einer größeren Schülerzahl für die Naturwissenschaften erreicht werden kann, wird wohl weiterhin eine ständig zu bewältigende pädagogische Aufgabe bleiben.

7.3. Die qualitative Bewertung von Soltauer Schüleraussagen durch zwei Personen im Forschungsprojekt nach „Cohens Kappa“

Um in der Gesamtbewertung qualitativer Schüleraussagen, die durch zwei Gutachter jeweils erstellt wurden, zu reliableren Aussagen zu gelangen, eignet sich die Berechnung nach „Cohen's Kappa.“ Darunter wird ein statistisches Messverfahren verstanden, das den relativ gemessenen Übereinstimmungswert $\text{Pr}_{(a)}$ zweier Gutachter zunächst misst und dann mittels der hypothetischen Wahrscheinlichkeit $\text{Pr}_{(e)}$ beider Aussagen k nach folgender Formel:

$$\kappa = \frac{\text{Pr}(a) - \text{Pr}(e)}{1 - \text{Pr}(e)}$$

berechnend feststellt. Stimmen die Bewerter in allen Entscheidungen überein, nimmt κ (Kappa) den Wert „1“ an, bei Teil-Übereinstimmungen den Wert $0 < \kappa < 1$.

Die Ableitung der Formel ist im Internet beschrieben unter http://en.wikipedia.org/wiki/Cohen%27s_kappa.

Die Basis für diese Berechnung ist die Wikipedia-Version vom 27.02.2013.

Im Folgenden werden die bereits in Kapitel 7.2. dieser Arbeit dargelegten Messergebnisse der Schülerfragen 2 bis 8 mit denen eines zweiten Gutachters nach angegebener „κ - Formel“ Cohens abgestimmt.

Auswertung der Aufgabe 2: „Wie beurteilst Du in der Rückschau das von Dir erworbene Wissen?“

Gesamtzahl der Antworten : 144

Gutachter A: 124 Ja-Stimmen – 20 Nein-Stimmen

Gutachter B: 126 Ja-Stimmen – 18 Nein-Stimmen

Tabellendarstellung mit möglicher Aufschlüsselung der angegebenen Werte zur “Cohens-Kappa-Berechnung”: (siehe Abbildung 65)

		Bewerter B	Bewerter B
		Ja	Nein
Bewerter A	Ja	120	4
Bewerter A	Nein	6	14

(A-Stimmen in den waagerechten Reihen, B-Stimmen in den senkrechten Spalten zählen)

Abbildung 65: Aufschlüsselung der Werte aus der Cohens Kappa Berechnung, Aufgabe 2

Daraus folgt:

für die relative Wahrscheinlichkeit : $Pr_{(a)} = (120 + 14) : 144 = 0,93056$,

für die hypothetische Wahrscheinlichkeit gilt:

A stimmt für „Ja“ mit $124 : 144\%$ iger Wahrscheinlichkeit, gleich 86%, und für „Nein“ mit $20/144\% = 13,89\%$.

B stimmt für „Ja“ mit $126 : 144\% = 87,5\%$ und mit „Nein“ für $20 : 144\% = 13,89\%$.

Die Wahrscheinlichkeit beider Bewerter für „Ja-Aussagen“ ist damit : $0,86 \cdot 0,87 = 0,7482$

und die Wahrscheinlichkeit beider für eine „Nein-Aussage“ $0,139 \cdot 0,139 = 0,0193$.

Für $Pr_{(e)}$ ergibt sich daraus : $0,7482 + 0,0193 = 0,7675$.

Für κ errechnet sich damit der Wert : $\kappa = (0,93056 - 0,7675) : (1 - 0,7675) = 0,16306 : 0,2325 = 0,70133$.

$\kappa = 0,70133$. Ergebnis : Die Aussagen beider Bewerter stimmen zu 70% überein.

Bei der Auswertung der Fragen 3 bis 8 wird folgend nur der Wortlaut und dann die prozentuale Übereinstimmung beider Gutachteraussagen angegeben. Auf die ausführliche Darstellung der Ableitungen, wie beispielhaft in obiger Aufgabe angegeben, wird hier der erwünschten Kürze wegen verzichtet.

Aufgabe 3: „Welcher Unterrichtsform – praktischen Versuchen oder theoretischen Erklärungen –

gibst Du den Vorzug?“

Ergebnis: 84 % Übereinstimmung beider Gutachter

Aufgabe 4: „Haben die Platinen Dein physikalisches Verstehen erleichtert?“

Ergebnis: 23 % Übereinstimmung beider Gutachter

Aufgabe 5: „Wie beurteilst Du das Lernen zusammen mit anderen?“

Ergebnis: 38,8 % Übereinstimmung beider Gutachter

Aufgabe 6: „Wie ließen sich die Platinen im Interesse erfolgreichen Lernens verbessern?“

Ergebnis: 42,2 % Bewertungsübereinstimmung

Aufgabe 7: „Konntest Du neue Einsichten oder auch manuelle Tätigkeiten beim Experimentieren erwerben?“

Ergebnis: 68 % Bewertungsübereinstimmung

Aufgabe 8: „Wie beurteilst Du Dein neues Wissen in der Halbleitertechnik?“

Ergebnis: 44,9 % Bewertungsübereinstimmung

Beurteilung der errechneten Messdaten:

Es erhebt sich natürlicherweise für den kritischen Leser die Frage, welche Bedeutung den errechneten, einzelnen Messwerten beigemessen werden kann. In der wissenschaftlichen Forschung wird laut Wikipediainformation auf die Werteskalen nach Landis und Koch und auf die von Fleiss hingewiesen.

Danach gilt:

Landis und Koch bewerten „k-Daten“ wie folgt:

- $k < 0$ schlechte Übereinstimmung;
- $0 < k < 0,20$ etwas Übereinstimmung;
- $0,21 < k < 0,41$ ausreichende Übereinstimmung;
- $0,41 < k < 0,60$ mittelmäßige Übereinstimmung;
- $0,61 < k < 0,80$ beachtliche Übereinstimmung;
- $0,81 < k < 1$ vollkommene Übereinstimmung.

Diese Unterteilung nach Wikipedia kann natürlich wissenschaftlich nicht als endgültig übernommen werden. Gleiches gilt auch für die willkürliche Bewertungsskala nach Fleiss, der folgende Einteilung empfiehlt:

- $k > 0,75$ exzellente Übereinstimmung
- $0,40 < k < 0,75$ eine gerechte bis gute Übereinstimmung ;

- $k < 0,4$ als geringfügige Übereinstimmung.

Die errechneten und dargestellten Kappa-Werte nach Cohen in der zweimaligen Bewertung der Soltauer Schüleraussagen weisen keine herausragenden Abweichungen von den beschriebenen Werten den dargestellten Bewertungsskalen auf. Sie lassen sich alle problemlos in die angegebenen Skalenbereiche einfügen. Daraus lässt sich zumindest in einem ersten Schritt die Vermutung erhärten, dass keine größeren, die Bewertung erheblich verfälschenden Fehler in der Auswertung der Schüleraussagen auftraten. Die Bewertung kann insgesamt daher aus der Sicht der Beurteiler als annehmbar betrachtet werden.

Die oben angegebene Bewertung ist im Internet beschrieben unter dem Titel:

http://de.wikipedia.org/wiki/Cohens_Kappa.

8. Anwendungsschaltungen von Halbleiterelementen mit Jugendlichen im Physikunterricht aufbauen und in ihren Teilfunktionen verstehen

Im Anschluss an das Kennenlernen neuer Schaltelemente und ihrer Funktionen auch deren praktische Anwendungen im Physikunterricht zu erarbeiten, wird erfahrungsgemäß von Schülerinnen und Schülern gern angenommen. Insbesondere wissen viele Jugendliche es zu schätzen, wenn Sachverhalte aus ihrer unmittelbaren technischen Umgebung untersucht und erklärt werden. Etwa beispielhaft im Unterricht den Transport elektrischer Energie vom Kraftwerk zur Verbrauchersteckdose im Hause mittels Wechselstrom experimentell und theoretisch nachzuvollziehen und auch zu verstehen, stellt etwas Besonderes dar. Die folgende Gleichrichtung von Wechselstrom in Gleichstrom im Unterricht kennenzulernen lässt ebenfalls viele Jugendliche erstaunen und weckt technisches Interesse. Nicht minder wirkt natürlich das Erleben der Wirkungsweise von Transistoren in selbst erbauten einfachen Empfangsgeräten, die schwache elektrische Signale, von der Antenne empfangen, in stärkere, letztlich optisch und akustisch wahrnehmbare, verwandeln können.

Für das Soltauer Unterrichtsvorhaben wäre insbesondere die Umwandlung von Wechsel- in Gleichstrom mittels Halbleiterdioden in einer Graetz-, auch Gleichrichterschaltung genannt, und auch die Verstärkung von sehr schwachen Strömen in stärkere durch Transistoren aufschlussreich gewesen. Aus zeitlichen Gründen konnte dieses Unterrichtsvorhaben nicht umgesetzt werden. Es musste einer späteren Bearbeitung vorbehalten bleiben.

Wie Schülerinnen und Schülern 9./10. Klassen im Unterricht Interesse weckende Anwendungsschaltungen überzeugend nahe gebracht werden können, soll aus Sicht des Autors dieser Arbeit ihrer methodisch-didaktischen Bedeutung wegen ausführlicher dargelegt werden. Im Folgenden werden zwei erprobte Unterrichtsvorbereitungen unter Einsatz von eigens gefertigten Arbeitsplatten näher beschrieben:

8.1. Unterrichtsthema: Wechselstrom in Gleichstrom verwandeln:

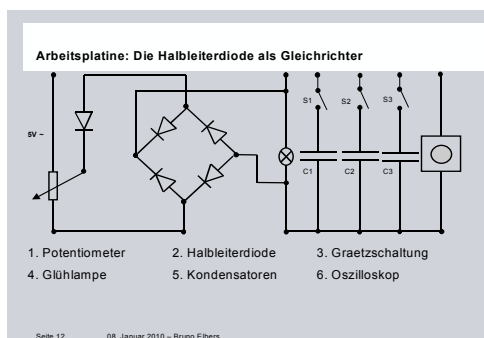


Abbildung 66: Schaltplan der Arbeitsplatten

In Verbindung mit einer Spannungsquelle für Wechselstrom, etwa eines Transformators auf einer Arbeitsplatine für Eingangsspannungen von 230 Volt~ und einer Ausgangsspannung von 7,6 Volt~, und eines Oszilloskopes lässt sich die Verwandlung von Wechsel- in Gleichspannung schrittweise übersichtlich mit Hilfe des Aufbaues der abgebildeten Arbeitsplatine verfolgen: (siehe Abbildung 66)

1. Schritt: Die Außenanschlüsse des Potentiometers werden mit denen einer Wechselspannungsquelle

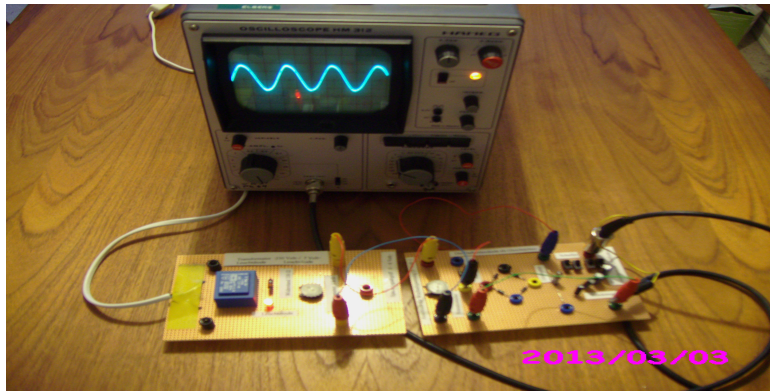


Abbildung 67: Darstellung von Wechselspannung auf dem Oszilloskop

und denen eines angeschlossenen Oszilloskopes verbunden. Eine Sinusschwingung, Kennzeichen für Wechselspannung, wird auf dem Display sichtbar. (siehe Abbildung 67)

2. Schritt: In die Verbindung Potentiometerabgriff - Oszilloskop wird die Halbleiterdiode eingeschaltet. Als Folge wird eine Halbwelle der Sinusschwingung, je nach Polung der Diode die untere oder die obere, unterdrückt. Eine Halbwelle bleibt übrig. (siehe Abbildung 68)

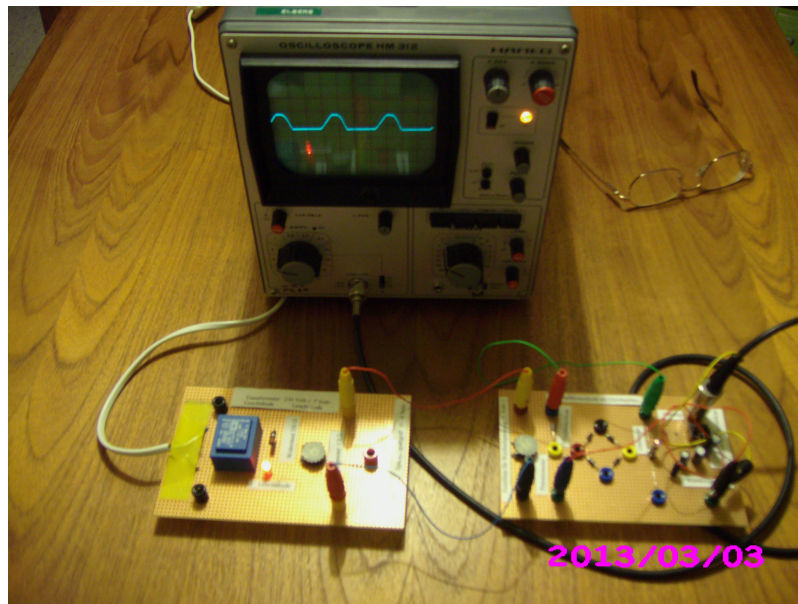


Abbildung 68: Die Diode unterdrückt eine Halbwelle der Sinusschwingung

3. Schritt: Wird anstelle des Oszilloskopes die Glühlampe in den Stromkreis eingeschaltet, so leuchtet diese im ersten Versuch je nach Potentiometereinstellung heller (siehe Abbildung 69), im zweiten Versuch bei unveränderter Potentiometereinstellung weniger hell (siehe Abbildung 70). Erklärung: Nur eine Hälfte der elektrischen Energie wird der Glühlampe zugeführt, die andere Hälfte wird unterdrückt.

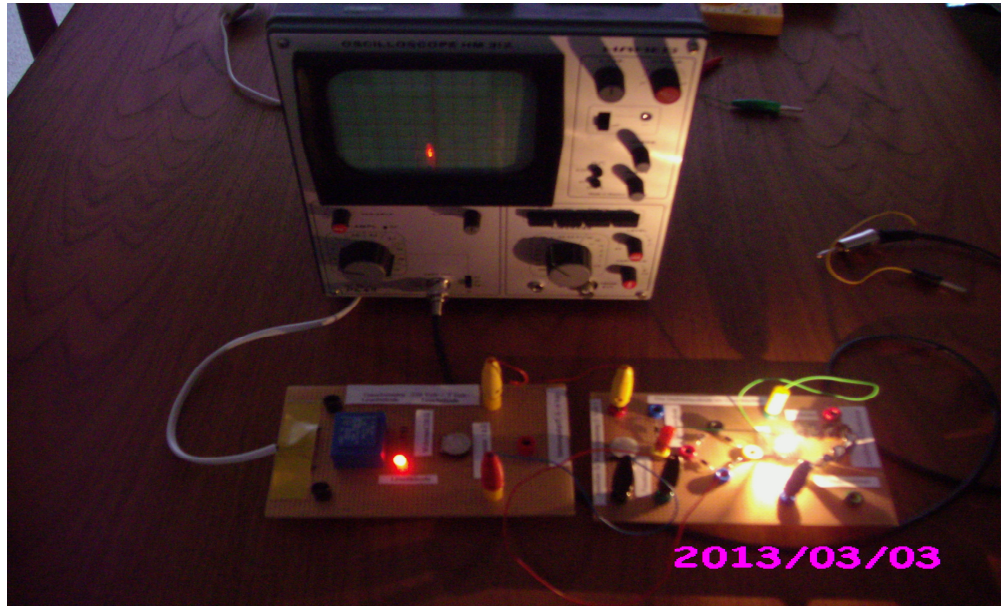


Abbildung 69: Beide Halbwellen des Wechselstromes werden als Träger der elektrischen Energie umgesetzt

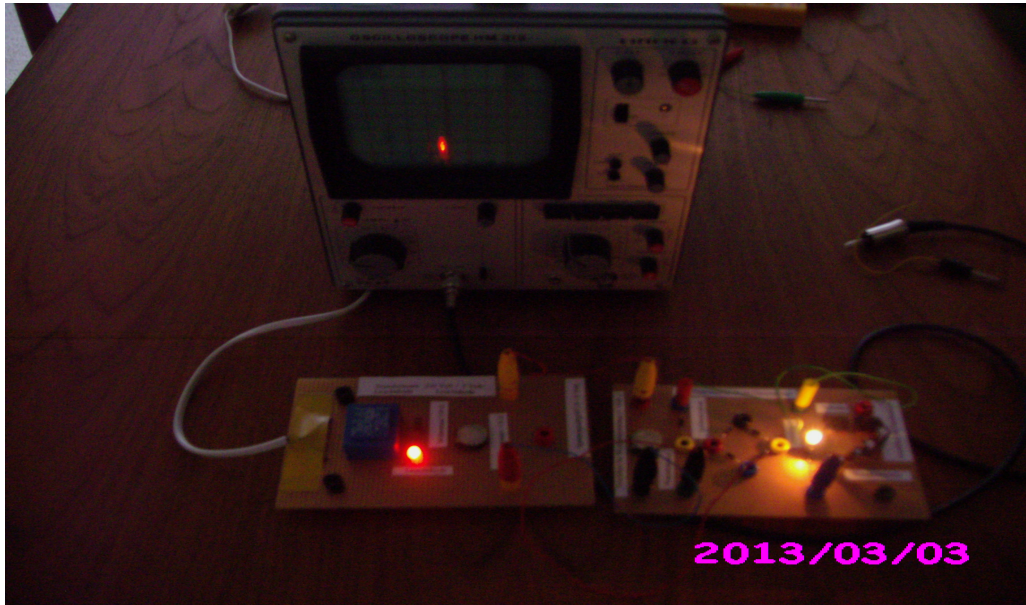


Abbildung 70: Nur eine Halbwelle als Energieträger wird hier umgesetzt

Eine Gleichrichterschaltung nutzt beide Halbwellen einer Sinuswelle, erkennbar an der größeren Helligkeit der Lampe. Stromart: pulsierender Gleichstrom. Alle Kondensatoren sind noch nicht zur Glättung eingeschaltet, die rechten Schenkel der Sinusschwingungen sind gestreckter. (siehe Abbildung 71)

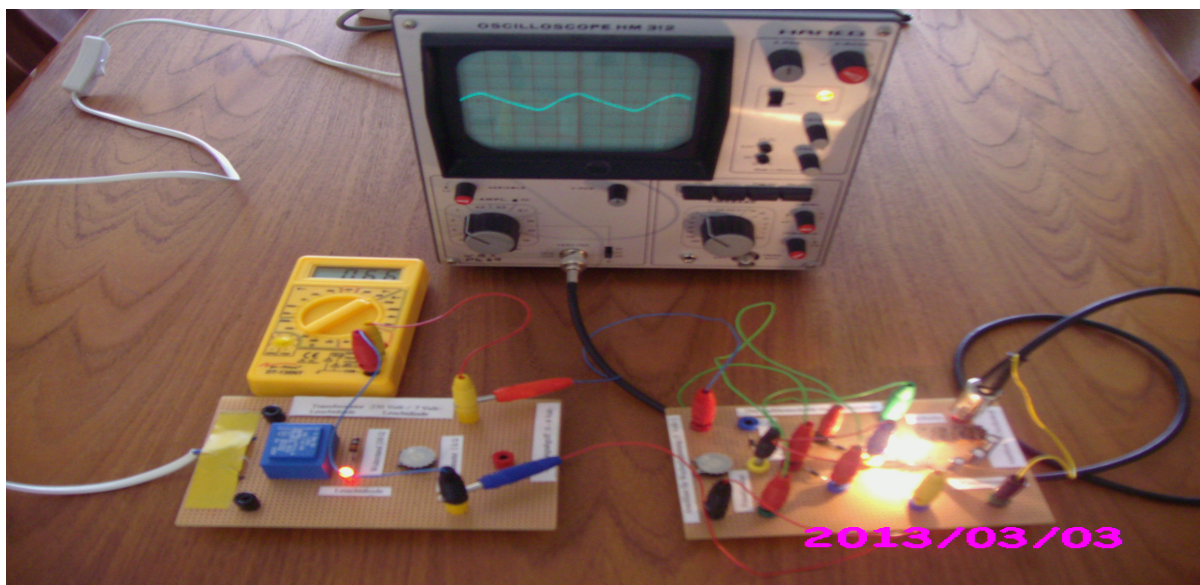


Abbildung 71: Teilweise geglätteter Gleichstrom- die Kennlinie verläuft oberhalb der waagerechten Achse

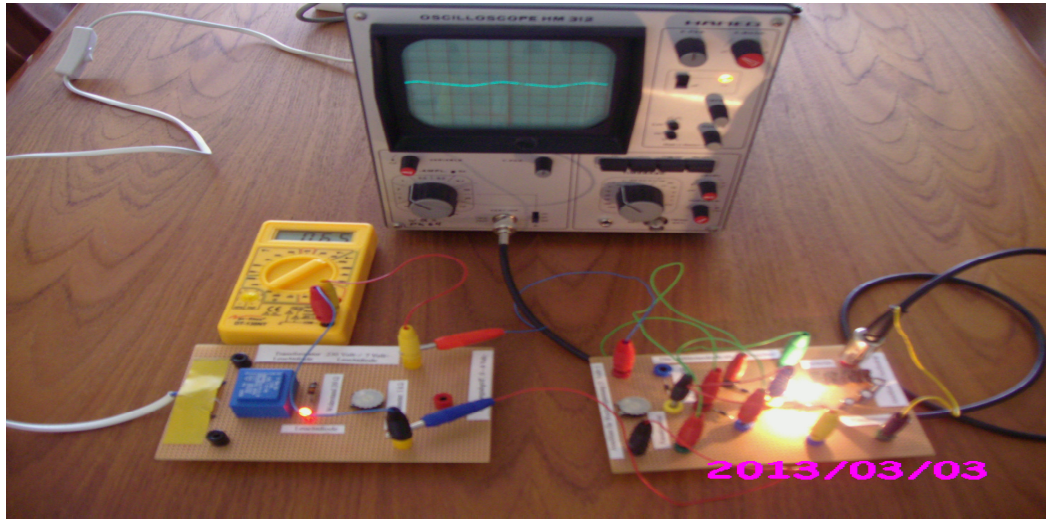


Abbildung 72: Geglätteter Gleichstrom

Parallel zur Lampe geschaltete Kondensatoren glätten die Sinusschwingung in Abhängigkeit von ihrer Kapazität unterschiedlich stark. Die Restwelligkeit, auch Brummspannung genannt, kann durch eine ergänzte Widerstands-Kondensator-Schaltung nahezu vollkommen unterdrückt werden. (siehe Abbildung 72)

8.2. Der Transistor, ein hilfreicher Verstärker

Interessierte und kritische Schülerinnen und Schüler stellen bisweilen im Physikunterricht die Frage, wo und auch wie in realen Lebenssituationen notwendigerweise überhaupt ein Schaltelement eingesetzt werde. In solchen Situationen ist es sinnvoll, nicht nur gesprächsweise, sondern auch, wenn möglich, durch einen Versuch eine Klasse von der Notwendigkeit einer unterrichtlichen Auseinandersetzung mit „diesem“ besonderen Thema zu überzeugen.

Am Beispiel der Verstärkungswirkung eines Transistors lässt sich gleichzeitig eine vertiefte Betrachtungsweise elektrischer Sachverhalte aufzeigen. In der folgenden Abbildung sind drei Versuchsaufbauten dargestellt, deren genauere Betrachtung Lernenden die physikalisch-technische Problematik bewusst macht.

Ergebnisfeststellungen:

Skizze 1 (siehe Abbildung 73) zeigt an, dass bei einem Vollabgriff am Potentiometer ebenfalls wie am oberen Widerstand 5 Volt gemessen werden können. Beide Widerstände teilen, wie erwartet, die Speisespannung von 10 Volt.

Der Versuch entsprechend der Schaltskizze 2 (siehe Abbildung 73) lässt wider Erwarten erkennen, dass die 6 Volt/0,08A- Lampe nicht einmal ein bisschen aufleuchtet.

Erst die Zwischenschaltung eines Transistors nach der Skizze 3 ermöglicht ein Aufleuchten des Lämpchens entsprechend des Spannungsabgriffes am Potentiometer und der dadurch gesteuerten Basisstromstärke I_B .

Erklärung der Versuchsergebnisse:

Die gemachten Beobachtungen versetzten erfahrungsgemäß Schüler in Erstaunen. Nur gemeinsam gelingt im Allgemeinen die folgende verständliche Erklärung. Durch die Parallelschaltung der kleinen Lampe zum Potentiometer (Skizze 2) sinkt der Gesamtwiderstand R (Potentiometer und Lampe) beider auf nur noch $74,44 \Omega$. Dieser Wert ist im Vergleich zu $10 \text{ k}\Omega$ des oberen Widerstandes von $10 \text{ k}\Omega$ sehr gering. Es fällt daher an der Lampe auch nur ein sehr geringer Spannungswert U ab. Sie kann nicht leuchten. Diese Spannung reicht jedoch aus, einen Basisstrom zu erzeugen, der die Kollektor-Emitter-Strecke des Transistors öffnet, so dass die Lampe je nach Stärke des Basisstromes heller oder dunkler leuchten kann.

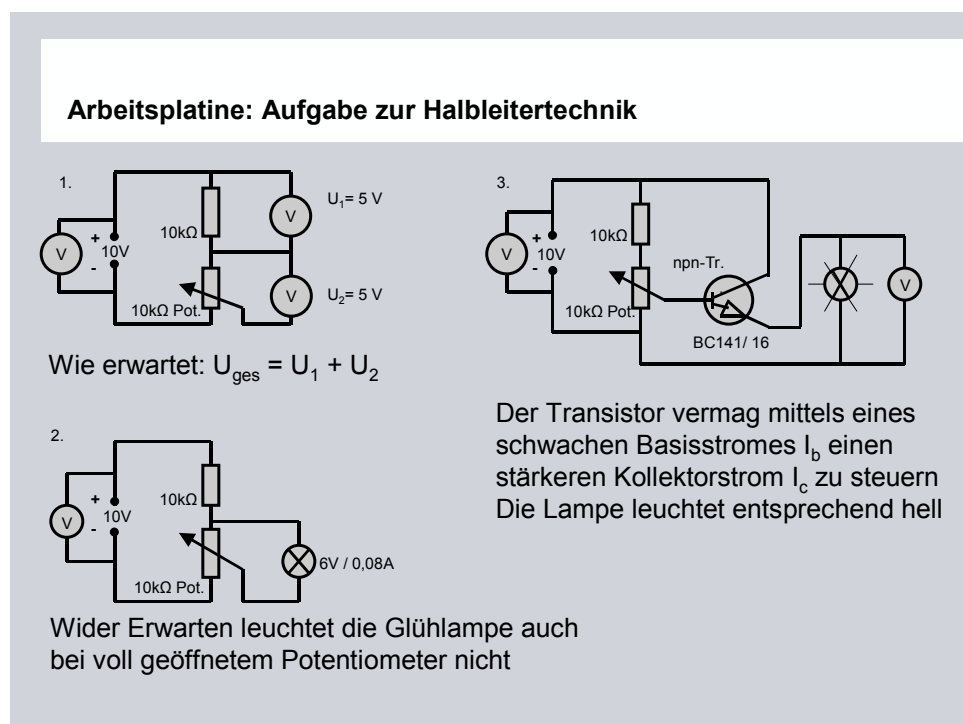


Abbildung 73: Potentiometerschaltung und Transistor

Die in folgendem Foto (siehe Abbildung 74) dargestellte Arbeitsplatte ermöglicht die Durchführung der beschriebenen Versuche im Unterricht. Das Lämpchen leuchtet gerade, wie in Schaltskizze 3 (siehe Abbildung 73) beschrieben.

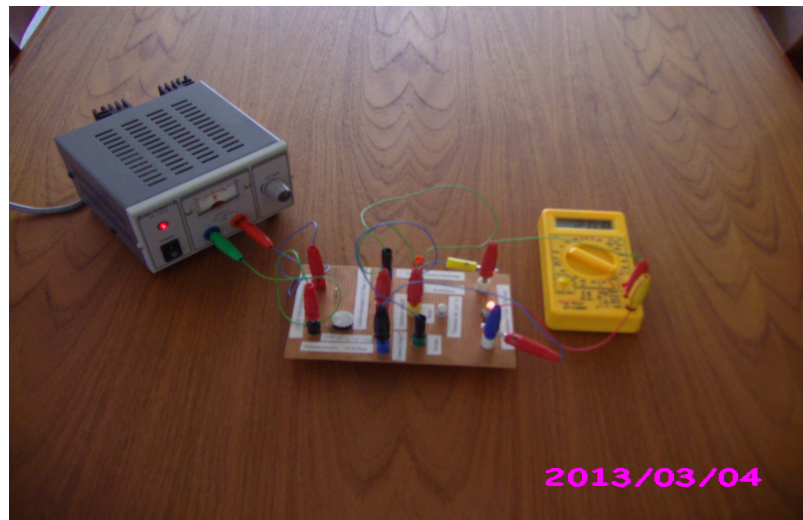


Abbildung 74: Der Transistor als Verstärker

9. Die motivierende Wirkung des erlebten Unterrichtes aus der Sicht und im Urteil der Soltauer Realschüler

9.1. Schüler-Fragebogen zur Motivation durch den Unterricht

Um festzustellen, wie motivierend Schüler und Schülerinnen der August-Wöhler-Realschule den erlebten Physikunterricht im zurückliegenden Halbjahr empfanden, wurde ihnen der folgend abgedruckte Fragebogen zur Beantwortung vorgelegt. Zur Messung der motivierenden Wirkung von Unterricht wird diese Befragung in der naturwissenschaftlichen Forschung empfohlen. (Häußler, 1998, S. 111).

Fragebogen: (siehe Abbildung 75)

Messung der motivierenden Wirkung des Physikunterrichtes bei Herrn Elbers

(Kreuze an, was für Dich zutrifft. Diese Befragung bezieht sich auf die Einführung in den Unterricht zur Elektrizitäts- und Halbleiterlehre)

	Fragen	Stimmt völlig	Stimmt gar nicht
1	Der Unterricht war abwechslungsreich		
2	Ich war neugierig darauf, was wir in der nächsten Stunde lernen		
3	Ich bedauerte es, wenn der Unterricht ausfiel		
4	Der Unterricht beschäftigte sich mit Dingen, die mir im täglichen Leben begegnen		
5	Ich freue mich auf den Unterricht.		
6	Im Unterricht gab es etwas Neues für mich zu entdecken		
7	Es gab Dinge, die mich besonders interessiert haben		
8	Ich habe auch außerhalb des Unterrichtes über manche Dinge nachgedacht, die wir zuletzt gelernt haben		
9	Ich habe in Büchern nachgeschlagen, um mehr über das behandelte Gebiet zu erfahren		
10	Ich habe mit Freunden, Eltern und Geschwistern über Dinge aus diesem Gebiet gesprochen		
11	Ich konnte mich leicht auf die Sache konzentrieren		
12	Ich hatte das Gefühl, für mich selbst etwas dazu gelernt zu haben		
13	Die Schule würde mir mehr Spaß machen, wenn wir öfter solche		

	Dinge behandeln würden.		
14	Ich wünschte, es gäbe bald eine Fernsehsendung über dieses Thema		
15	Es hat Spaß gemacht, mein Verständnis für dieses Thema zu vertiefen		
16	Mit solchen Themen hätte ich mich auch freiwillig gern beschäftigt		
17	Ich würde über dieses Themengern noch mehr erfahren		
18	Mein Interesse an Physik ist größer geworden, seit wir diesen Stoff durchgenommen haben		
19	Manchmal fand ich es schade, wenn es klingelte und die Stunde vorbei war		

Abbildung 75: Feststellung der Motivation - Umfrage

9.2. Auswertung des Schüler-Fragebogens

Die Antworten von 107 befragten Neuntklässlern der August-Wöhler-Realschule sind in der folgend abgebildeten Tabelle (siehe Abbildung 76) zusammengefasst:

Auswertung des Motivationstestes:

Frage	Stimmt völlig	Teilweise richtig	Stimmt gar nicht
1	98	3	6
2	58	8	41
3	11	14	82
4	65	13	29
5	56	9	42
6	99	2	6
7	85	6	16
8	41	8	58
9	22	3	82
10	48	4	55
11	51	7	49
12	95	7	5
13	54	10	43
14	20	7	80
15	67	11	29
16	25	9	73
17	60	12	35
18	65	10	32
19	22	7	78

Abbildung 76: Auswertung des Motivationstestes

Im Hinblick auf Perspektiven für die Unterrichtsarbeit umfasst der Test drei Aspekte:

- Beschäftigung mit dem Unterrichtsthema auch außerhalb des Unterrichtes,
- Einschätzung des persönlichen Nutzens,
- Beurteilung des Unterrichtsklimas. (Häußler, 1998, S. 111)

Da die Gestaltung des Physikunterrichtes und damit auch die in ihm herrschende Atmosphäre zu einem nicht unerheblichen Teil vom Unterrichtenden bestimmt wird, soll die Auswertung der Befragung daher insbesondere diesbezüglichen Fragen gelten.

In den relativ vielen, bejahenden und zustimmenden Aussagen der Schülerinnen und Schüler wie:

- Der Unterricht war abwechslungsreich,
- Der Unterricht beschäftigte sich mit Dingen, die mir im täglichen Leben begegnen,
- Ich freue mich auf den Unterricht,
- Es gab Dinge, die mich besonders interessiert haben,
- Ich hatte das Gefühl, für mich selbst etwas dazu gelernt zu haben und
- Mein Interesse an Physik ist größer geworden

spiegeln sich in hohem Maße Zustimmung zur Unterrichtsgestaltung in allen Klassen. Es kann damit zumindest für den Unterricht während des Forschungsprojektes in Soltau festgestellt werden, dass Wechsel der Arbeitsformen im Unterricht und die aktive manuelle Auseinandersetzung der Jugendlichen mit technisch-physikalischen Sachverhalten erheblichen Zuspruch in den Klassen gefunden haben. Die Möglichkeit, einen Sachverhalt aus dem täglichen oder auch aus dem zumindest näheren Erlebensbereich selbst im Experiment klären zu können, schafften eine fruchtbare Arbeitsatmosphäre und bei vielen Jugendlichen zudem Selbstvertrauen in die eigenen Fähigkeiten.

Zugleich vollzieht sich dabei offensichtlich in vielen Lernenden eine nicht unerhebliche innere Öffnung für dieses zunächst nicht besonders beliebte Fach. Das wird auch bestätigt, wenn in Frage 15 ein hoher Anteil der Befragten feststellt, dass es Spaß gemacht hat, „mein Verständnis“ für dieses Fach zu vertiefen und in Frage 18 „mein Interesse“ an Physik größer geworden ist.

Natürlich kann nicht zufrieden stellen, dass 42 gegenüber 56 Schülerinnen und Schülern sich nicht auf den Physikunterricht freuen und 49 gegenüber 51 sich nicht leicht auf die Sache konzentrieren konnten. Diese Antworten machen deutlich, dass es kleinerer Lerngruppen mit größerer Zuwendung durch Unterrichtende bedarf, um in Lernprozessen vorhandene Voreingenommenheiten, eventuelle Ängste und Hemmungen einzelner Lernenden genauer festzustellen und dann auch abzubauen.

Die Befragung der Soltauer Schülerinnen und Schüler lässt auch deutlich werden, dass Jugendliche in größerer Zahl - siehe Fragen 8, 9, 10 und 16 - sich nicht über den Unterricht hinaus mit physikalischen Themen aus eigenem Antrieb befassen. Erst der Physikunterricht in der Schule führt also bei vielen Lernenden zu begründeteren physikalisch-technischen Auseinandersetzungen. Es verwundert insbesondere, dass 80 von 107 Schülerinnen und Schüler eine Darstellung physikalisch-technischer Sachverhalte, die im Unterricht behandelt wurden, im Fernsehen nicht befürworten.

10. Die Soltauer Forschungsergebnisse in der Zusammenfassung

10.1. Das Soltauer Forschungsvorhaben

Die vorliegende Erkundungstudie ist in der Absicht durchgeführt worden, zu erforschen, in welcher Weise das Erlernen und Lehren naturwissenschaftlicher Sachverhalte im Physikunterricht allgemein bildender Schulen gesteigert werden können. Überdies galt es, Vorurteile der Jugendlichen gegenüber der Physik abzubauen und, wenn möglich, Interesse an diesem Fach zu schaffen.

Dass Schülerversuche in ihren vielfältigen Formen wichtige Voraussetzungen für effektives Vermitteln von Lehrinhalten erfüllen und ein fester begründetes Verstehen begründen können, wird allgemein in der Wissenschaft nicht bezweifelt. Allein die unterschiedlichen Formen ihrer Ausführungen, beispielsweise das Maß der gegebenen Anleitungen durch Lehrer und das der gewährten Schülerfreiräume, finden in der wissenschaftlichen Literatur keine ungeteilte Zustimmung. Auch die Wahl der angemessenen Unterrichtsinhalte im Blick auf spätere Verwendbarkeit für die Schülermehrheiten in einer Klasse werden beispielsweise gegenwärtig nicht einstimmig beurteilt.

Bestätigt wird in der Lernpsychologie der Umstand, dass Erkenntnisse, die in Verbindung mit manuellen Aktivitäten haptisch und optisch erworben wurden, über mehrere Wahrnehmungskanäle auf das Bewusstsein Lernender Einfluss nehmen. So gewonnenes Wissen ist dort tiefer verankert, nachhaltiger und dauerhafter verarbeitet und kann, wenn es benötigt wird, schneller und zielsicherer abgerufen werden.

Beanstandet wird bisweilen hingegen eine zu große Einengung schülerischen Denkens und Auswertens von Versuchsergebnissen und ein „Aufpfropfen“ von Lehrerhinweisen zur schnellen, physikalisch haltbaren Lösung einer gestellten Aufgabe.

Eine zu starke Anlehnung an eine wissenschaftliche und häufig allzu theoretische Betrachtungs- und Vorgehensweise im Physikunterricht wird als nicht kindgemäß empfunden und in der praktischen Erlebniswelt vieler Kinder als kaum vorkommend betrachtet. Viel zu wenig wird oft auch auf kindliches Vorwissen und auch auf kindgemäßes Herangehen an zu erarbeitende neue Aufgaben und Sachverhalte geachtet. Vor diesem sehr grob und keineswegs vollständig gezeichneten Hintergrund wissenschaftlicher Beurteilungen von Schülerversuchen lag es für den Autor vorliegender Untersuchung nahe, eigene Erfahrungen zu sammeln und zu eigenen ersten Erkenntnissen und Schlussfolgerungen zu gelangen. Es galt insbesondere, genauer zu untersuchen, ob experimentelles Arbeiten im Physikunterricht mit eigens vorbereiteten Arbeitsplatinen das Erlernen und Verstehen elementarer Sachverhalte und deren Gesetzmäßigkeiten in der Elektrizitäts- und auch Halbleiterlehre erleichtern und fördern können. Zu prüfen war daher die folgende These:

„Das Erlernen und Verstehen von grundlegenden Sachverhalten in der elementaren Elektrizitäts- und Halbleiterlehre lässt sich im Physikunterricht der Schulen durch den Einsatz von vorbereiteten Arbeitsplatinen erleichtern und fördern.“

10.2. Lernerfolge der Soltauer Schülerinnen und Schüler in kritischer Betrachtung

In fünf neunten Schulklassen in der Soltauer A.-Wöhler-Realschule wurden im Verlauf des ersten Halbjahres 2010 die eigens angefertigten Arbeitsplatinen erprobt. Der Vergleich der in dieser Zeitspanne von den Schülerinnen und Schüler erworbenen Kenntnisse mit denen international an Gymnasien von Zehntklässlern gewonnenen zeigte recht positive Ergebnisse. Zur Wissens- und Verstehensfeststellung von elementaren Grundkenntnissen in der Elektrizitätslehre dienten die im „Rhönecktest“ zusammengestellten und wissenschaftlich anerkannten Fragen.

Um der Fehleinschätzung nicht zu erliegen, die Soltauer Schülerantworten könnten Zufallsergebnisse darstellen, die Testergebnisse also nur begrenzt aussagekräftig sein, war es notwendig, mathematisch mit Hilfe des χ^2 -Testes und auch des Wilcoxon-Testes zu zeigen, dass die Soltauer und die international gewonnenen Ergebnisdaten der Tests nicht gemeinsamen Grundgesamtheiten entstammten. Mit der Auswertung des Testes war aufgezeigt, dass die Leistungen der Soltauer Schüler besser als die der Vergleichsschüler waren. Damit wurde auch die Vermutung genährt, dass der Einsatz der vorbereiteten Arbeitsplatinen das Erlernen und Verstehen physikalischer Abläufe gefördert haben musste. Diese Erkenntnis bestätigte gleichzeitig die oben angeführte These.

Die Messung der motivierenden Wirkung des erlebten Physikunterrichtes aus Sicht der Soltauer Schülerinnen und Schüler stellte darüber hinaus insgesamt ein erfreuliches Ergebnis unter Beweis. Überzeugende Mehrheiten der Jugendlichen bestätigten, dass:

- der Unterricht abwechslungsreich war,
- der Physikunterricht sich mit Sachverhalten aus dem täglichen Leben beschäftigte,
- im Unterricht den Schülern das Gefühl vermittelt wurde, für sich selbst etwas dazu gelernt zu haben,
- es Spaß gemacht habe, das eigene Verständnis für das bearbeitete Thema vertieft zu haben und schließlich,
- das Interesse an der Physik durch die Unterrichtsarbeit größer geworden war.

Schülerinnen und Schülern auch experimentelle Freiräume zum eigenen Erkunden neuer Einsichten zu gewähren, das hängt natürlich von ihrem schon erarbeiteten Grundwissen, von ihrem manuellen Können und letztlich auch von der Bereitschaft, ernsthaft einen physikalischen Sachverhalt zu untersuchen und zu erkunden, ab. Im Rahmen nur weniger Physikstunden und hoher Klassenfrequenzen gilt in der Regel der Hinweis, zunächst fundamentales Wissen und auch erstes experimentelles Können zu schaffen.

Es besteht angesichts der im Soltauer Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse kaum ein Zweifel darüber, dass Schülerversuche mit den beschriebenen Arbeitsplatinen das Verstehen elektrischer und halbleitender Funktionen und auch deren Gesetzmäßigkeiten erleichtert und dadurch gefördert haben. Zu vermuten, sie allein könnten Erfolge sichern, ist sicherlich ein Irrtum. Unterrichtserfolge gründen sich meist immer auf das Zusammenwirken mehrerer vorbereiteter Arbeitsschritte. Dazu gehören in der Regel, besonders in größeren Klassen, die folgend angeführten methodisch-didaktischen Planungen:

- Es ist ein auf das zu lösende Problem hinführendes Klassengespräch zu führen,
- Schnell handhabbares und übersichtliches Arbeitsmaterial ist in ausreichendem Umfang bereit zu stellen,
- Zu Beginn einer Arbeitsphase sollten klar umrissene Arbeitsaufträge erteilt werden, die in kleinen Schritten unter Beachtung der verfügbaren Zeit von den Lernenden durchzuführen sind,
- Versuchsaufbauten und Versuchsbeobachtungen sollten von den Lernenden zeichnerisch und schriftlich festgehalten werden,
- Für die Erreichung eines gleichen Wissensstandes aller Schülerinnen und Schüler in einer Klasse, etwa am Ende einer Arbeitsphase, ist, etwa durch das Notieren von Merksätzen oder das Aufzeichnen einer korrekten Schaltskizze, zu sorgen. Nur so lässt sich ein eventuelles Auseinanderdriften der Kenntnisstände der Schülerinnen und Schüler und damit ein Desinteresse einiger Lernender vermeiden,
- Genügend Raum für die Beantwortung von Schülerfragen ist einzuplanen,
- Experimentelle Misserfolge sind vorausschauend so weit als möglich, etwa durch die Bereitstellung von Ersatzteilen, zu vermeiden.

Schülerinnen und Schülern experimentelle Freiräume zum eigenen Erkunden neuer Einsichten zu gewähren, das hängt natürlich von ihrem schon erarbeiteten Grundwissen, von ihrer manuellen Befähigung und letztlich auch von der Bereitschaft, ernsthaft einen physikalischen Sachverhalt zu untersuchen und zu erkunden, ab. Im Rahmen nur weniger Physikstunden und angesichts hoher Klassenfrequenzen gilt in der Regel, zunächst den Erwerb fundamentalen Wissens und Könnens anzustreben und damit Vertrauen der Jugendlichen in eigene Fähigkeiten zu schaffen.

Die Beachtungen der genannten sieben Positionen stellen erfahrungsgemäß unterrichtliche Hilfen für einen erfolgreichen, Interesse schaffenden Unterricht dar. Schülerinnen und Schüler, besonders ältere, sind im Allgemeinen sehr wohl in der Lage, den Wert unterrichtlicher Bemühungen und Anstrengungen des Unterrichtenden zu erkennen, abzuschätzen und ihr eigenes Lernverhalten entsprechend darauf einzustellen. Dieser Umstand sollte daher stets methodisch-didaktische Richtschnur sein und in Unterrichtsvorbereitungen beachtet werden. Nur im sinnvollen, durch Vertrauen gekennzeichneten Zusammenwirken von Lehrenden und Lernenden kann es gelingen, einen konstruktiven, ergiebigen und auf Lernerfolg gerichteten

Physikunterricht zu gestalten, der von möglichst vielen Jugendlichen einer Klasse im Interesse vertiefter physikalischer Einsichten aller mitgetragen wird.

10.3. Ergänzende kritische Betrachtungen zum in Soltau erteilten Physikunterricht

Auseinandersetzungen mit pädagogischen Positionen im Rückblick auf das Soltauer Projekt

Wer sich als Lehrer im Physikunterricht der Mittelstufe auf die alleinige Erarbeitung von Sachverhalten, Funktionsabläufen, auf Messungen und die Festlegungen von Messeinheiten und daraus folgenden Gesetzmäßigkeiten in den überkommenen Bereichen der Physik, der Mechanik I und II, der Wärme- und der Elektrizitätslehre, der Optik und der Atomphysik beschränkt, der wird den Erwartungen an eine qualifizierte Bildungsarbeit in heutiger Zeit nicht vollends gerecht. Über die Vermittlung von einem bloßen Grundwissen in den genannten Fachdisziplinen hinaus sollten die Jugendlichen auch Informationen über die Physik in ihrem gegenwärtigen und auch zukünftigen Einfluss auf menschliche Gesellschaften, und damit auch auf ihr eigenes Leben, erhalten.

Es liegt nahe zu erwarten, dass Schülerinnen und Schüler dem Physikunterricht eine größere Aufmerksamkeit schenken werden, wenn sie im Unterricht auch über physikalisch-technische Probleme und Herausforderungen in unserer Umwelt und deren notwendige und anzustrebende Lösungen, genauer informiert werden. Die Erhaltung einer sauberen, lebenswerten und gesund erhaltenden Umwelt stellt zweifellos angesichts einer erheblich wachsenden Bevölkerungszahl im Hinblick auf die Versorgung mit ausreichenden Nahrungsmitteln, frischem Wasser, reiner Luft und ausreichender Energie eine besondere Herausforderung dar. Diese wird nur von wissenden, befähigten und verantwortungsbewussten Menschen in Angriff genommen und gelöst werden können. Es gilt daher, schon in der Schule junge Menschen auf die Problematik dieser Aufgaben im Rahmen ihres Verständnisses vorzubereiten.

Welche Inhalte sollten Schülern und Schülerinnen über grundsätzliches Wissen in der reinen Physik hinaus zur Erweiterung ihrer Sichtweise bewusst gemacht werden? Welche Zielsetzungen wurden insbesondere im Soltauer Unterricht angestrebt und konnten ihnen dann auch im Unterricht nahe gebracht werden? Hierüber wird im Folgenden detaillierter berichtet.

Frage 1: Basieren technische Errungenschaften auf physikalischen Grundlagenforschungen?

Die Physik als wissenschaftliche Disziplin hat in vielen Bereichen über handwerkliche Tätigkeiten hinaus erst die wissenschaftlichen Grundlagen für technische Entwicklungen geschaffen. Das wird beispielsweise an der Entwicklung allein vieler technischer Geräte, deren Nutzung in der Gesellschaft von überaus großer Bedeutung ist, besonders verständlich. Der Einsatz von Mikroskopen und Röntgengeräten in der Medizin, die Nutzung von Telefonen, Handys, Rundfunk- und Fernsehgeräten in der Gesellschaft, der Gebrauch von technisch gesteuerten Maschinen, von Computern in der Industrie, in der Wirtschaft und auch im privaten Leben wären beispielsweise ohne vorausgehende grundlegende physikalische Forschungen und dann folgende technische Weiterentwicklungen nicht vorstellbar. Auf diese vielfach selbstverständlich

gewordenen Errungenschaften wird in heutiger Zeit niemand ernsthaft verzichten wollen. Im Gegenteil, es gilt diese Vorrichtungen zum allseitigen Nutzen zu erhalten und ständig weiter zu entwickeln. Es ist aber auch zu bedenken, dass Fehlentwicklungen, die menschliches und auch tierisches Leben gefährden oder natürliche Lebensbedingungen zerstören, wie beispielsweise die eigennützige Rodung von Wäldern, die Überfischung der Ozeane oder die unbedachte Düngung von Böden mit vergifteten Substanzen, unbedingt vermieden werden müssen. Ganz zu schweigen über die weitere, gesicherte Versorgung der Menschen mit trinkbarem Wasser.

Dies lässt sich insgesamt friedlich und in sachlicher Atmosphäre nur durch Anstrengungen möglichst vieler naturwissenschaftlich-technisch informierter und damit wissender Menschen erreichen. Eine solche Zielsetzung erfordert daher, schon im naturwissenschaftlichen Unterricht in den Schulen eine entsprechende frühzeitige Information Lernender anzubahnen.

Es erhebt sich für den Unterrichtenden weiterhin die Frage, ob auch im Rahmen des beschriebenen Forschungsprojektes in Soltau angesichts nur weniger Unterrichtsstunden den Jugendlichen der Bezug der Physik zur Technik ansatzweise vermittelt werden konnte?

Das anfängliche Kennenlernen von Grundgrößen in der Elektrizitätslehre, Messungen mit diesen und die anschließende Erarbeitung von zusammenfassenden Gesetzmäßigkeiten, den Kirchhoff-Gesetzen und dem Ohmschen Gesetz, bis zur Erarbeitung einer Potentiometer-, Dämmerungs- und Warnlichtschaltung gaben den Jugendlichen die Möglichkeit, technische Anwendungen selbst aufzubauen, diese in ihrer Funktion genauer kennenzulernen und ihre Anwendbarkeit im Dienste der Menschen wahrzunehmen.

Frage 2: Können die im Soltauer Unterrichtsprojekt erworbenen neuen Einsichten und Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler Teil einer erweiterten Allgemeinbildung sein?

In seinem Buch „Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik“ definiert der Erziehungswissenschaftler W. Klafki den Begriff der Allgemeinbildung wie folgt:

„Allgemeinbildung muss verstanden werden als Aneignung der die Menschen gemeinsam angehenden Frage- und Problemstellungen ihrer geschichtlich gewordenen Gegenwart und der sich abzeichnenden Zukunft und als Auseinandersetzung mit diesen gemeinsamen Aufgaben, Problemen, Gefahren.“ (Klafki, 1996, Seite 53).

Zweifelsohne stellen der Umgang mit Energie, ihre sichere, zuverlässige Gewinnung ohne negative Folgen für menschliches Leben und ihr verlustarmer Transport schon jetzt und mit hoher Wahrscheinlichkeit auch künftig eine Herausforderung dar. Der sparsame und haushälterische Umgang mit ihr wird daher auf lange Sicht eine Notwendigkeit der Menschen bleiben. Gerade der Einsatz der elektrischen Energie als der am vielseitigsten verwendbaren Form erfordert eine besondere Beachtung. Ihre Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten kennenzulernen, zu verstehen, zu beachten und Jugendlichen zu vermitteln, stellt daher eine besondere Aufgabe für den Physikunterricht dar. Im Folgenden wird dies ausführlicher erläutert.

Ein Leben, ohne die elektrische Energie nutzen zu können, ist für viele Menschen in heutiger Zeit, besonders in industriellen Ländern, kaum noch denkbar. Erlebte Ausfälle mit ihren negativen Folgen in der Versorgung zeigen das zur Genüge. Ihr sinnvoller Einsatz sollte daher immer verantwortungsbewusst erfolgen. Das ist aber nur erreichbar, wenn die sie nutzenden Menschen auch über ihren besonderen Wert Bescheid wissen und ihre Gesetzmäßigkeiten, wenigstens im Ansatz, kennen. Eine genauere Auseinandersetzung mit dieser Energieform ist daher unverzichtbar und sollte schon während der Schulzeit eingeleitet werden.

Die Erhellung eines Raumes mit elektrisch erzeugtem Licht, das elektrische Kochen, Waschen und Bügeln im Haushalt, die Erzeugung von Wärmeenergie im Wohnraum, der Betrieb von Rundfunk- und Fernsehgeräten, der Betrieb von vielen hier gar nicht aufzählbaren Geräten und Maschinen am Arbeitsplatz, in der Medizin und im Verkehr, in all den genannten Anwendungsbereichen haben Menschen es mit elektrischen Erscheinungen zu tun. Schon die Erzeugung einer die Umwelt schonenden und nicht gefährdenden elektrischen Energie und ihre verlustarme Weiterleitung über große Strecken zu Orten des Gebrauches stellen eine besondere Herausforderung an Ingenieure, Techniker und Gemeindeverwaltungen dar.

Im Zusammenhang mit der Nutzung von elektrischer Energie treten Begriffe und Bezeichnungen auf, die für viele Menschen zunächst unverständlich sind und deshalb erklärt werden müssen..

So werden die Begriffe elektrische Spannung, elektrische Stromstärke, elektrische Leistung und elektrische Energie einschließlich ihrer Einheiten bisweilen missverständlich, unklar oder gar falsch angewendet. Auch wird der Unterschied zwischen Gleich- und Wechselstrom, der Frequenzbegriff und die Wirkungsweise von Transformatoren in Umspannwerken hin und wieder gar nicht erfasst. Mit Halbleitern bestückte Geräte in ihren inneren Grundfunktionen zu verstehen, gelingt meist nur wenigen, fachlich informierten Menschen.

Es wird aus diesem Grunde sehr schnell verständlich, dass hier möglichst vielen jungen Menschen klare und eindeutige Begriffe zum genaueren Verstehen ihrer elektrischen Umwelt und deren Gesetze an die Hand gegeben werden müssen. Erst dann kann erwartet werden, dass auch der sichere und gefahrlose Gebrauch in vielen Situationen beherrscht wird und insgesamt Nutzen für alle bringt.

Vorteilhaft kann es zudem nur sein, im Unterricht auch einen ersten vertieften Einblick in die atomare Welt der Leiter und Nichtleiter den Lernenden zu vermitteln und auf diese Weise ihnen elektrische Vorgänge verständlicher zu machen.

Dass experimentelles Handeln das Verstehen von elektrischen und auch halbleiterischen Vorgängen erheblich unterstützt und steigern kann, wurde in vorliegender Arbeit ausführlich dargelegt. Ergänzt werden muss hier aber auch, dass Versuche mit Elektrizität bei höheren Spannungen, über 24 Volt, gesundheitliche Gefahren bergen können. Es ist daher notwendig, die Jugendlichen im Unterricht auf diese hinzuweisen und so eventuelle Unfälle innerhalb und auch außerhalb des Unterrichtes zu vermeiden. Gleiches gilt natürlich auch für die Vermeidung von Schäden an kostbaren und daher teuren Geräten und Schaltelementen.

Im informierenden Unterricht sollten Versuche möglichst immer erfolgreich verlaufen, um das Selbstwertgefühl und die Freude der jungen Menschen an der Physik zu stärken. Das erfordert im Unterricht, immer wieder beispielsweise Schülerinnen und Schüler darauf hinzuweisen und daran zu erinnern, dass bei eingeschaltetem Strom keine Versuchsaufbau-Änderungen vorgenommen und nichtisolierte Leiterverbindungen nicht berührt werden dürfen.

Zur Vermeidung von Schäden an Schaltelementen und insbesondere an den verwendeten multifunktionalen Messgeräten und Gleichstromversorgungsgeräten wurde im Unterricht in Soltau besonders darauf geachtet, Auf- und Umbauten an Schaltungen nur bei abgeschalteter Gesamtspannung vornehmen zu lassen. Auf diese Weise konnte sicher gestellt werden, dass den Arbeitsgruppen Gelegenheit zu genauer Überprüfung und eventueller gefahrloser Korrektur ihrer Schaltungen gegeben wurde.

Experimentierenden bewusst zu machen, gerade bei Versuchen in der Elektrizitätslehre besondere Vorsicht walten zu lassen, sollte im Physikunterricht nicht unbeachtet bleiben. Missglückte Versuche können sehr schnell die Freude der Jugendlichen an manuellem Tun trüben und eine innere Abkehr von der Physik bewirken. Das gilt es jedoch unter allen Umständen zu vermeiden.

Frage 3: Können auch die im Soltauer Projekt erarbeiteten Kenntnisse in der elementaren Halbleitertechnik Teil einer Allgemeinbildung sein?

In seinem Werk: „Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik“ formuliert W. Klafki wie folgt:

„Allgemeinbildung bedeutet in dieser Hinsicht, ein geschichtlich vermitteltes Bewusstsein von zentralen Problemen der Gegenwart und – soweit voraussehbar – der Zukunft zu gewinnen, Einsicht in die Mitverantwortlichkeit aller angesichts solcher Probleme und Bereitschaft, an ihrer Bewältigung mitzuwirken. Abkürzend kann man von der Konzentration auf epochaltypische Probleme unserer Gegenwart und der vermutlichen Zukunft sprechen.“ (Klafki, 1996, Seite 56).

Als zwei zentrale Probleme unserer gegenwärtigen Gesellschaft, die insbesondere zu ihrer Lösung technische Fragen aufwerfen, nennt Klafki unter mehreren epochaltypischen Problemen die Umweltfrage und die Gefahren und Möglichkeiten neuerer Steuerungs-, Informations- und Kommunikationsmöglichkeiten. Das Bewusstsein der Menschen einerseits auf einen sparsamen Umgang mit Energie zu lenken und andererseits die Entwicklung alternativer Energiequellen voranzutreiben, stellt in heutiger Zeit nach Klafki ein wesentliches erzieherisches Moment dar. Schon im Physikunterricht sollten Schülerinnen und Schüler daher auf diese Problematik hingewiesen werden. Klafki hebt hervor:

„Im Unterricht können und sollten die genannten Aufgaben soweit wie möglich in der Form handlungsorientierter Projekte in Angriff genommen werden, und zwar von den frühesten Bildungsstufen an, also im Grunde schon im Vorschulbereich, mindestens aber in der Grundschule beginnend.“ (Klafki, 1996, Seite 59).

Im Rahmen des Soltauer Forschungsprojektes wurde die Energiegleichung: $W = 1000 \cdot U \cdot I \cdot t$ mit den Größen W in der Einheit Kilowattstunden, U in Volt, I in Ampère und t in Stunden zur elektrischen

Energieberechnung mit den Schülerinnen und Schülern in aufeinander aufbauenden Stufen abgeleitet und angewendet. Dies geschah vor allen Dingen auch in der Absicht, einen Bezug der Jugendlichen zur physikalisch-technisch erlebten häuslichen Welt herzustellen. Es galt ihnen bewusst zu machen, dass der sparsame Umgang mit im Hause genutzter elektrischer Energie eine gesellschaftliche Aufgabe darstellt. Zu wissen, wie der Energiebegriff sich ableitet, wie elektrische Energie berechnet wird, stellt daher ein unverzichtbares Wissen dar, das schon im Physikunterricht erlernt werden sollte. Dieser Umstand wird indirekt auch in der Äußerung R. Müllers deutlich. In seiner Schrift „Kontextorientierung und Alltagsbezug“ stellt er fest:

„Die Begriffe und Inhalte des Physikunterrichtes werden in einem reinen Schulkontext erlebt. Inhaltlich hat die Schulwirklichkeit mit der „Welt draußen“ kaum etwas zu tun. Für Schülerinnen und Schüler ist es schwer, Verbindungen mit bekannten Begriffen, Erfahrungen und Vorstellungen herzustellen, „Anschauung“ zu gewinnen.“ (Müller, in Mikelskis 2006, Seite 103).

Wie bereits ausführlich beschrieben wurde, konnte mit der Ableitung obiger Energiegleichung das Schülerbewusstsein auf den aus mehreren Größen zusammengesetzten Energiebegriff gelenkt und damit verständlicher und sicherer im Wissen der Lernenden gemacht werden. Zudem konnte zumindest bei einigen Jugendlichen die Verbrauchsvorstellung des elektrischen Stromes durch eine physikalisch haltbare ersetzt werden.

Die alternative Gewinnung elektrischer Energie aus Strahlungsenergie mittels Solarzellen wurde in Soltau experimentell im Unterricht von Schülerinnen und Schülern aus Zeitgründen nur in zwei Klassen erarbeitet. Es galt zunächst die Wirkungen von in Reihe und dann parallel geschalteten Solarzellen und deren Gesetzmäßigkeiten zu erkunden. Die Wirkungen von Schatten und von direkter senkrechter Lichteinstrahlung konnten anschließend erarbeitet und so die Möglichkeiten einer optimalen Nutzung in der Umwandlung von Strahlungsenergie in elektrische erkundet werden.

Die vielfältigen möglichen Vorteile in der Anwendung von mit Halbleitern bestückten Geräten und Einrichtungen auch sinnvoll ausnutzen zukönnen, setzt eine genauere Kenntnis halbleiterischer Funktionen und Techniken unter Menschen, die mit ihnen umgehen müssen, voraus. Diese auch in der Schule anzubahnen, allen Lernenden ihre Handhabbarkeit aufzuzeigen, stellt ebenfalls eine nicht zurückweisbare Aufgabe für den Physikunterricht dar. Klafki beschreibt sie wie folgt:

„Wir brauchen in einem zukunftsorientierten Bildungssystem auf allen Schulstufen und in allen Schulformen eine gestufte, kritische informations- und kommunikationstechnologische Grundbildung als Moment einer neuen Allgemeinbildung; „kritisch“, das heißt so, dass die Einführung in die Nutzung und in ein elementarisiertes Verständnis der modernen, elektronisch arbeitenden Kommunikations-, Informations- und Steuerungsmedien immer mit der Reflexion über ihre Wirkungen auf die sie benutzenden Menschen, über die möglichen sozialen Folgen des Einsatzes solcher Medien und über den möglichen Missbrauch verbunden werden.“ (Klafki, 1996, Seite 60).

Diese Ausführungen bedürfen keiner besonderen Erklärungen und Ergänzungen. Auch im Soltauer Projekt wurde versucht, gerade im ersten Kennenlernen und Verstehen halbleiterischer Funktionen wichtige Grundlagen für technische Abläufe zu schaffen. Selbst handelnd auf Vorgänge in Halbleitern Einfluss nehmen zu können, half darüber hinaus, spezielles Interesse zu wecken, Wirkungen zu erleben und auch erste Zurückhaltungen und Unsicherheiten zu überwinden und damit das Selbstvertrauen der Experimentierenden zu stärken.

Frage 4: Können die im Rahmen des Soltauer Forschungsprojektes gewonnenen methodisch-didaktischen Einsichten Hilfen für die allgemeine Gestaltung von Physikunterricht, insbesondere bei der Einführung in die elementare Elektrizitäts- und Halbleiterlehre, bieten?

Junge Menschen im Physikunterricht naturwissenschaftlich zu bilden, sie auf eine Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen vorzubereiten, das ist wohl uneingeschränkt ein allgemein anerkanntes Anliegen aller dieses Fach unterrichtender Lehrerinnen und Lehrer. Doch was heißt physikalische Bildung? Wie kann man sie erlangen?

Nominelles, isoliertes Wissen allein erfüllt keineswegs die erforderlichen Bedingungen, als naturwissenschaftlich gebildeter Mensch angesehen zu werden. Vielmehr sind es unter anderen die Fähigkeiten, physikalisch-technische Sachverhalte zu durchschauen, sie zu verstehen, funktional in ihnen zu denken, Vorteile und Gefahren ihres Wirkens vorauszusagen und schließlich, mit Blick auf ein gesetztes Ziel, sinnvoll und verantwortungsbewusst zu handeln.

Eine physikalische Bildung kann nicht kurzfristig erworben werden, ihr Erwerb, ihre Herausbildung erstrecken sich über einen längeren Zeitraum. Im Physikunterricht ist daher in den meisten Fällen zunächst nur eine erste Anbahnungsmöglichkeit durch Interessensweckung für dieses Fach, zumindest für einzelne Bereiche, möglich.

Der international gebräuchliche Begriff „Scientific Literacy“, übersetzt mit „Naturwissenschaftliche Grundbildung“, beschreibt mit dieser Bezeichnung die „Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, welche die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betrifft.“ (Deutsches Pisa-Konsortium 2000, zitiert nach Mikelskis, 2010, S.14).

Welche Orientierungspunkte, die genannten Fähigkeiten und auch Ziele im Physikunterricht anzustreben, sollten beachtet werden? Könnte der Soltauer Unterricht mit seiner Vermittlung elektrischer und halbleiterischer Kenntnisse diesbezügliche Hinweise anbieten? Im Folgenden werden Gesichtspunkte genannt, die schon in den Unterrichtsvorbereitungen wichtige Leitlinien kennzeichneten.

4.1. Die Physik als Wissenschaft im Unterricht beachten

Natürlich war es in Soltau von unverzichtbarer Bedeutung, in jeder Unterrichtsstunde einen Bezug zur Physik als Wissenschaft herzustellen. Das hieß im Detail, Folgendes den Lernenden zu vermitteln:

Elektrischer Strom lässt sich als Fluss von Elektronen, die sich aus der Hülle eines Atomes gelöst haben und nun im Metall frei beweglich geworden sind, beschreiben,

Atome, bestehend aus einem Kern mit positiv geladenen Protonen und neutralen Neutronen sind nicht in jedem Fall stabil. Atome radioaktiver Elemente, etwa Radon in der Luft oder Thorium als feste Substanz, zerfallen stetig, nachweisbar mittels Geiger-Müller-Zählern.

Es gibt Gleich- bzw. Wechselstrom, je nachdem, wie sich die Elektronen, die den Strom bilden, bewegen; grundsätzlich fließen die negativ geladenen Elektronen zum Pluspol; Wechselstrom lässt sich als Sinuskurve, Gleichstrom als gerade Linie auf dem Oszilloskop darstellen,

Kernkräfte im Atomkern verhindern das Auseinanderstreben der positiv geladenen, sehr nahe beieinander liegenden Protonen; es liegt nahe zu vermuten, dass Neutronen an ihrem Entstehen beteiligt sind,

Zur Spannungs-, Stromstärke- und Widerstandsmessung an in Reihen- oder in Parallelschaltung miteinander verbundenen Widerständen dienen Messinstrumente; es gelten besondere Gesetzmäßigkeiten in der elementaren Elektrizitäts- und Halbleiterlehre, die Kirchhoff-Gesetze und das Ohmsche Gesetz.

4.2. Technische Fähigkeiten im Unterricht vermitteln:

Durch Experimente den Nachweis der Gültigkeit von physikalischen Gesetzmäßigkeiten durch Schülerinnen und Schüler auch in stark frequentierten Klassen bestätigen zu lassen, das war im Soltauer Projekt ein wesentliches, den Unterricht belebendes Element. Das Erleben, einen Versuch aus einer Fragestellung heraus, selbst aufbauen zu können, eine Wirkung als Folge einer Einflussnahme von außen zu beobachten, stärkte sowohl die Zustimmung der jungen Menschen zum Unterrichtsgeschehen insgesamt als auch ihr Selbstvertrauen in eigene Fähigkeiten.

Im Unterricht vollendeten die Schülerinnen und Schüler den Aufbau von halbfertigen Schaltkreisen auf vorbereiteten Arbeitsplatinen und führten ergänzend die folgenden Tätigkeiten aus:

- Messungen von Spannungen, Stromstärken, und Widerstandswerten an Widerständen und unterschiedlich stark leuchtenden Lämpchen durchführen,
- Gesamtspannungen und Stromstärken in Reihen- und Parallelschaltungen von Widerständen bestimmen,
- Die Abhängigkeit der LDR-Widerstände von Beleuchtungsstärken und die Abhängigkeit von NTC-Widerständen von der Temperatur nachweisen,
- Die Durchlass- beziehungsweise die Sperreigenschaft von Halbleiterdioden erkennen,
- Die Verstärkerwirkung von Transistoren wahrnehmen und bestimmen,
- Eigenschaften von verschiedenen Leuchtdioden feststellen,
- Die Wirkung von Leuchtdioden in verschiedenen Schaltungen erkunden,

- Umstände und Gesetzmäßigkeiten zur Erhöhung von Spannungen und Stromstärken durch Lichteinstrahlung auf Solarzellen erkunden,
- Die Umwandlung von Strahlungsenergie in elektrische Energie durch Solarzellen mittels eines Lastwiderstandes R optimal nutzen.

4.3. In klärenden Gesprächen an Alltagserfahrungen der Schüler und Schülerinnen im

Physikunterricht anknüpfen

Dass die Nutzung elektrischer Energie in Haushalten bezahlt werden muss, war für Soltauer Schülerinnen und Schüler in den unterrichteten Klassen selbstverständlich. Doch in welcher Weise Zahlungsbeträge von den Soltauer Stadtwerken festgestellt, berechnet, erhoben und von den Nutzern beglichen werden müssen, das wussten sie anfänglich nicht. Die Klärung und Beantwortung dieser Fragen blieb daher in den einzelnen neunten Klassen zunächst Klassengesprächen mit etwa folgenden Inhalten vorbehalten:

„Elektrische Energie liefernde Kraftwerke erheben für abgegebene Arbeitseinheiten, die in Kilowattstunden (kWh) gemessen und berechnet werden, entsprechende Geldforderungen. Die Soltauer Stadtwerke übernehmen als Energieverteiler das Inkasso. Die belieferten Kunden können mit Blick auf ihre in Anspruch genommenen Energiemengen unterschiedliche Tarife wählen. Für die ununterbrochene Lieferbereitschaft am Tag, in der Nacht, an jedem Tag eines Jahres, die per Gesetz verordnet ist, erheben sie von den Kunden zu zahlende Grundgebühren. Für die zur Verfügungstellung von Kilowattstundenzählern sind zusätzlich Zählergebühren zu zahlen.“

Im Zahlungsverkehr wird vielfach der Ausdruck „Stromrechnung“ verwendet. Diese Bezeichnung ruft natürlich bei manchen Unwissenden und insbesondere bei Lernenden zunächst die Vorstellung hervor, der elektrische Strom werde tatsächlich in häuslichen Geräten selbst „verbraucht“. Das ist natürlich falsch. Der Elektronenstrom ist Träger von Energie, die in Elektrogeräten entsprechend umgesetzt wird. Der Ausdruck „Stromrechnung“ sollte daher vermieden und durch eine richtigere Bezeichnung, etwa „Elektrische Energie(be)rechnung“, im Interesse eines eindeutigeren Verständnisses bei vielen Menschen, ersetzt werden.

Im Soltauer Unterricht galt es vor allen Dingen, die folgend genannten Grundbegriffe sprachlich klar, wie bereits angedeutet, gegeneinander zur Schärfung des Verstehens abzugrenzen:

- Spannungen werden in den Einheiten Volt „V“ und auch „mV“ gemessen und angegeben,
- Stromstärken werden in den Einheiten Ampere „A“ und auch „mA“ und „ μ A“ gemessen,
- Widerstandswerte werden mit den Einheiten Ohm „ Ω “, „k Ω “, auch „M Ω “ bezeichnet,
- Elektrische Leistungen werden mit den Bezeichnungen Watt „W“ beziehungsweise „kW“ angegeben und
- elektrisch genutzte Energiebeträge in Kilowattstunden „kWh“ gemessen.

Vor diesem Hintergrund der Notwendigkeit eindeutiger Bezeichnungen wurde den meisten Schülerinnen und Schülern in Soltau zudem bewusst, dass in der Physik klare Bezeichnungen und eindeutige Begriffe zum Abfassen von Merksätzen wie auch physikalischen Berichten vorteilhaft und vielfach auch unerlässlich sind. Gleiches gilt natürlich auch für die unterrichtliche Sprache. Ein tieferes Eindringen in Sachverhalte, wie etwa in das Verstehen halbleitender Vorgänge, wird ohne die eindeutige Verwendung von klaren Begriffen weniger gut gelingen und kann bisweilen auch schnell zu vermeidbaren Missverständnissen führen.

Frage 5: Konnten im Soltauer Unterricht vorbereitete Arbeitsplatinen die Lernbereitschaft der Jugendlichen erhöhen?

Es besteht kein Zweifel darüber, dass die vorbereiteten Arbeitsplatinen im Gegensatz zu bloß theoretischen Erklärungen den Unterricht nach mehrheitlichen Aussagen der Schüler und Schülerinnen außerordentlich belebt und auch das Verstehen der Lerninhalte unterstützt und damit erleichtert haben. Schaltelemente in den meisten Fällen überhaupt erst einmal sehen und in die Hand nehmen zu können, Schaltkreise mit ihnen aufzubauen, zu schließen und dann selbst durch das Experimentieren zu eigenen Untersuchungsergebnissen zu gelangen, das insgesamt erstaunte die meisten Jugendlichen erheblich und schaffte eine überzeugende Nähe zu physikalischen Fragestellungen. Es spornte sie vielfach zu weiterem Tun an und erleichterte das Verstehen erlebter physikalischer Sachverhalte.

Darüber hinaus verlieh den Jugendlichen, insbesondere den schwächeren, der Umstand, während der Gruppenarbeiten einander helfen zu können, mehr Sicherheit und damit zunehmend Freude und Aufgeschlossenheit gegenüber der Physik. Zudem wurde den meisten die Erkenntnis bewusst, dass Physik durchschaubar und damit verstehbar ist. Es ist allerdings erforderlich, ja unerlässlich, aber auch lohnenswert, zum Verstehen neuer Sachverhalte sich einzusetzen und anzustrengen.

Im Rahmen des vorgegebenen Stundenrhythmus an Schulen ermöglichten die Platinen mit befestigten, vielfach sehr kleinen Schaltelementen überdies einen relativ schnellen Versuchsablauf ohne Verluste von Bauteilen und sicherten dadurch einen ungestörten Unterrichtsverlauf.

Die Ergebnisse des Soltauer Projektes insgesamt zusammenfassend, ist der Unterrichtende zu dem Schluss gelangt, dass aus seiner Sicht im Physikunterricht der Sekundarstufe 1 nicht auf vorbereitete Schülerversuche verzichtet werden sollte. In ihrem Schwierigkeitsgrad und auch in der Folge einzelner Arbeitsschritte sollten sie allerdings auf die durchschnittliche Leistungsfähigkeit einer Klasse abgestimmt sein. Das Erlebnis, selbst neue physikalisch-technische Erkenntnisse erarbeitet, formuliert und damit wohl auch in einem höheren Maße verstanden und verankert zu haben, schafft eine unmittelbarere und sachlichere Nähe zur Physik und zur Technik. Gleichzeitig wird einer größeren Zahl von Schülern und Schülerinnen durch folgerichtiges Handeln, davon abhängiges Denken und sprachliches Formulieren mehr Selbstvertrauen zu sich selbst und zu ihrer eigenen Schaffens- und Urteilkraft vermittelt. Auch werden eventuell negative Einstellungen zur Physik unter den Lernenden abgebaut. Zweifelsohne ist das eine anzustrebende, gesellschaftlich wichtige und auch lohnende und erfüllende Zielsetzung im gegenwärtigen Physikunterricht in Schulen.

11. Literaturverzeichnis

Physikdidaktik:

1. R. Duit, Alltagsvorstellungen berücksichtigen, in: R. Müller, R. Wodzinski, M. Hopf (Hrsg): Schülervorstellungen in der Physik, Köln: Aulis, 2007.
2. R. Duit, Schülervorstellungen und Lernen von Physik – Stand der Dinge und Ausblick, in: R. Müller, R. Wodzinski, M. Hopf (Hrsg) : Schülervorstellungen in der Physik, Köln: Aulis, 2007.
3. Ernst Grimsehl, Didaktik und Methodik der Physik, texte zur mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen forschung und lehre, Bd.1-reprint, didaktischer Dienst hildesheim, Verlag barbara franzbecker, 1910.
4. P. Häußler, Perspektiven für die Unterrichtspraxis, Naturwissenschaftsdidaktische Forschung, Kiel 1998.
5. Derek Hodson, Practical work in school science, School Science Review, 70 1990, S. 256.
6. Martin Hopf, Problemorientierte Schülerexperimente, Dissertation an der Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilian-Universität, München 2007.
7. M. Hopf, H. Schecker, H. Wiesner, Physikdidaktik-kompakt, Köln, Aulis-Verlag, 2011.
8. P. A. Kirschner, J. Sweller, R. E. Clark, Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experimental, and Inquiry-Based Teaching, Educational Psychologist, 41(2), 2006.
9. W. Klafki, Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik, München, Beltz Verlag 1996,
10. K. Knoll, Didaktik der Physik, Theorie und Praxis des Physikunterrichtes in der Sekundarstufe, München, Ehrenwirth Verlag 1978.
11. D. Koller, Ch. Waltner, H. Wiesner, Zur Einführung von Stromstärke und Spannung, PdN-PhiS 6/57, 2008.
12. Kultusministerium Baden-Württemberg, Bildungsplan: Leitgedanken zum Kompetenzerwerb, 2004.
13. L. McDermott, What we teach and what is learned - Closing the gap, Am. J. Phys. 59(4), 1991.
14. D. E. Meltzer, Active - Learning Instruction in Physics, Am. J. Phys. 80 (6) 2012.
15. Ph. Mayring, Qualitative Inhaltsanalyse, <http://www.qualitative-research.net/fqs-texte/2-00/2-00mayring-d.htm>, 25.06.2005
16. R. Müller, R. Wodzinski, M. Hopf, Schülervorstellungen in der Physik, Köln, Aulis-Verlag 2004.

17. R. Müller, Kontextorientierung und Alltagsbezug, in Mikelskis, Physikdidaktik, Cornelsen-Verlag, 2006.
18. Nds. Kultusministerium, Lehrpläne, allgemein bildende Schulen, 2012.
19. G. Reinmann-Rothmeier, H. Mandl, Forschungsbericht Nr. 60, Unterrichten und Lernumgebungen gestalten, LMU München, 1999.
20. Ch. v. Rhöneck, Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis, in: R. Müller, R. Wodzinski, M. Hopf Hrsg: Schülervorstellungen in der Physik, Köln, Aulis, 2007.
21. R. Späth, Überarbeitung und empirische Untersuchung eines Unterrichtskonzeptes zur Einführung in die Elektrizitätslehre, Zulassungsarbeit, LMU München, 2009.
22. E. Starauschek, Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs, Berlin, Logos, 2001
23. M. Wagenschein, Die Pädagogische Dimension der Physik, hv-Hahner, Verlagsgesellschaft, 1995.
24. M. Wagenschein, Kinder auf dem Wege zur Physik, Weinheim, Beltz 2003.
25. H. Wiesner, Zeitschrift: Grundschulunterricht 1994, S. 3 .
26. H.-J. Wilke, Physikalische Schülerexperimente, Vorzüge, Erfahrungen und Probleme, Zeitschrift: NiU-Physik 4, 1993, Seite 8-11.

Lernpsychologie:

1. M. Korte, Wie Kinder lernen, München, Goldmann-Verlag 2009.
2. G. Roth, Bildung braucht Persönlichkeit, Wie Lernen gelingt, Klett-Cotta 2011.
3. G. Roth, Warum sind Lehren und Lernen so schwierig? Manuskript eines Vortrages in Bremen 2002, S.2
4. M. Spitzer, Lernen, Gehirnforschung und Schule des Lebens, Heidelberg, Spektrum-Akademischer Verlag 2009.
5. F. Vester, Denken, Lernen, Vergessen, München, Deutscher Taschenbuch-Verlag 1978.

Lehrbücher:

1. D. Ciepik, Erlebnis Physik, Braunschweig, Schroedel-Verlag, 2006.
2. P. Bastian, Elektrotechnik-Elektronik, Haan-Gruiten, Verlag Europa-Lehrmittel 2003.
3. P. Bastian, Rechenbuch Elektrotechnik, Haan-Gruiten, Verlag Europa-Lehrmittel 2005.
4. R. Bayer, Impulse- Physik 2, Stuttgart, Klett-Verlag 2002.
5. R. Hepp, Umwelt, Physik-Ausgabe B, Stuttgart, Klett-Verlag 1973.
6. O. Höfling, Physik-Band 1, Bonn, Dümmler-Verlag 1974.

7. O. Höfling, Physik-Band 2-Teil 2, Bonn, Dümmler-Verlag 1973.
8. E. Ignatowitz, Physik für Schule und Beruf, Haan-Gruiten, Europa-Lehrmittel 2007.
9. A. Walz, Blickpunkt Physik, Hannover, Schroedel-Verlag 1997.

Fachliteratur zur Elektronik:

1. K. Beuth, Elementare Elektronik, Würzburg, Vogel-Buch-Verlag 2003.
2. K. Kreß, Elektronik, Frankfurt/M., Moritz Diesterweg-Verlag 1989
3. L. Stiny, Grundwissen Elektrotechnik, Poing, Francis-Verlag 2003

Statistik:

1. J. Bortz, Forschungsmethoden und Evaluation, Heidelberg, Springer-Verlag 2006.
2. K. Bosch, Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik, Braunschweig, Westermann-Verlag 1996.
3. J. Cohen, http://en.wikipedia.org/wiki/Cohen%27s_kappa, 2013.
4. L. Sachs, Angewandte Statistik, Heidelberg, Springer-Verlag 2009.
5. H. K. Strick, Einführung in die Beurteilende Statistik, Braunschweig, Westermann-Verlag 2010.
6. W. Tews, H-P. Trautmann, Abi-Profi-Mathe Stochastik, Cornelsen-Verlag 2008.
7. M. Baum, Stochastik, Stuttgart, Klett-Verlag 2010.

12. Beschaffung von Arbeitsmaterial

Das Arbeitsmaterial für die aufgeführten Schülerversuche in der elementaren Elektrizitäts- und Halbleiterlehre wurde im Fachhandel erworben, vornehmlich von den Firmen:

1. Conrad Electronic,
Klaus-Conrad-Straße 1
92240 Hirschau

2. Traudl Ries
St.-Georgen-Straße 6
95463 Bindlach.

13. Anhang 1: Fragebogen 1 zur Feststellung des Wissens in der Elektrizitäts- und elementaren Halbleiterlehre

Fragebogen 1 zur Feststellung des Wissens in der Elektrizitäts- und elementaren Halbleiterlehre

Zielgruppe : Mädchen und Jungen der Klasse R9

Beantworte die folgenden Fragen so gut Du kannst! Kannst Du eine Frage nicht beantworten, mache einen Strich. Deine Antworten haben keinen Einfluss auf Deine Physiknote.

Fragen zur Elektrizitätslehre:

1.1. Welche Stromart kann man häuslichen Steckdosen in Deutschland entnehmen?

Welche Spannungen lassen sich an diesen Steckdosen messen? _____

1.2. Welche Stromart liefert eine Batterie beziehungsweise ein Akkumulator?

1.3.1. Wie nennt man die kleinsten Kupfer- oder Eisenteilchen entsprechender Drähte?

1.3.2. Aus welchen noch kleineren "Masseilchen" bestehen diese "Körper" der Frage 1.3.1.? (3)

Sind diese elektrisch geladen? _____ Gib bitte eine genauere Antwort!

2.1. In Gesprächen zur Physik hört man des öfteren die Fügung „Ohmsches Gesetz“. Wie lautet es eigentlich in Worten: _____

wie in Buchstabenform? _____

2.2. In welcher Einheit misst man die elektrische Spannung U? _____

2.3. In welcher Einheit wird die elektrische Stromstärke I angegeben? _____

2.4. In welcher Einheit misst man den elektrischen Widerstand R? _____

3.1. Elektrizitätswerke beliefern Haushalte mit elektrischer Energie. In welcher Einheit wird diese Energie berechnet? _____

3.2. In welcher Einheit werden die Leistungen von Geräten im Haushalten angegeben?

4.1. Schülerinnen und Schüler bekunden hin und wieder eine Abneigung gegenüber dem Physikunterricht. Wie lautet Deine Meinung? _____

4.2. Was sollte (könnte) nach Deiner Meinung anders gemacht werden? _____

Fragen zur elementaren Halbleiterlehre (Elektronik):

4.1. Nenne vier Geräte, die mit elektronischen Bauteilen ausgestattet sind:

5.2. Im Folgenden sind die Namen verschiedener elektronischer Bauteile aufgeführt. Kannst Du ihre Wirkungsweise kurz in einer Fügung beschreiben?

Transistor : _____

Halbleiterdiode : _____

Leuchtdiode : _____

Solarzelle : _____

Festwiderstand : _____

Lichtempfindlicher Widerstand LDR: _____

Temperaturempfindlicher Widerstand NTC: _____

Vielen Dank für Deine Antworten,
Elbers

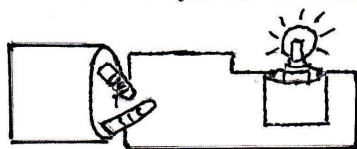
14. Anhang 2: Fragebogen des „Von Rhöneck-Testes“

Dieser Schülertest für das Untersuchungsprojekt in Soltau wurde entsprechend den Angaben in dem Beitrag „Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis“ von C. v. Rhöneck, abgedruckt in R. Müller, R. Wodzinski, M. Hopf: „Schülervorstellungen in der Physik“ - Köln, Aulis-Verlag, S.167, vom Autor der vorliegenden Untersuchung zur Vorlage in den Prüfklassen nachgezeichnet.

14.1. Der v. Rhönecktest

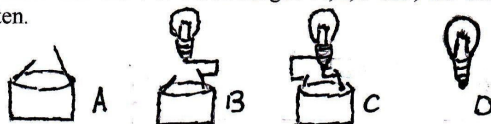
Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis – Christoph von Rhöneck

Aufgabe 1: Sie sehen hier ein Lämpchen an eine Batterie angeschlossen. Das Lämpchen leuchtet. Lesen Sie jeden der untenstehenden Sätze und kreuzen Sie an.



- | | stimmt | falsch | weiß nicht |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 1. Die Lampe verbraucht den elektrischen Strom vollständig | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Die Lampe verbraucht ein bisschen den elektrischen Strom | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Der elektrische Strom von der Batterie zur Lampe kommt völlig unverbraucht von der Lampe zur Batterie zurück | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Aufgabe 2: Betrachten Sie die vier Abbildungen A,B,C u.D, die brauchbare Batterien und Lämpchen enthalten.



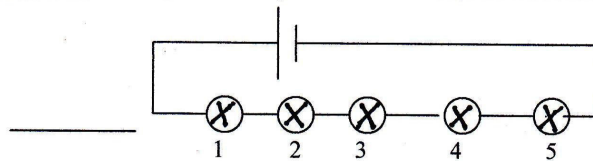
Lesen Sie nun jeden der folgenden Sätze durch. Ein Satz kann auf mehrere Abbildungen zutreffen. Wenn der Satz zutrifft, machen Sie bitte in dem entsprechenden Kästchen ein Kreuz.

- | | A | B | C | D | weiß nicht |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Das Lämpchen leuchtet in: | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Elektrischer Strom ist in: | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. Elektrische Stromstärke ist in: | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Elektrische Spannung ist in: | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Aufgabe 3: Sie finden hier einige Sätze zur elektrischen Spannung, zum elektrischen Strom und zur Energie. Lesen Sie jeden der untenstehenden Sätze und kreuzen Sie an!

- | | Stimmt | falsch | weiß nicht |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 1.a Die elektrische Spannung und der Strom kommen nur zusammen vor | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.b Die elektrische Spannung kann auch einmal ohne den elektrischen Strom vorkommen | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 1.c Der elektrische Strom kann auch einmal ohne die elektrische Spannung vorkommen (Bei Supraleitungsgilt –aussage 1v) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. Der elektrische Strom ist Energie | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Aufgabe 4: Fünf gleiche Lampen werden in Reihe an eine Batterie angeschlossen.



Kreuzen Sie an, was richtig ist:

1. Lampe 5 leuchtet heller als Lampe 1

☐

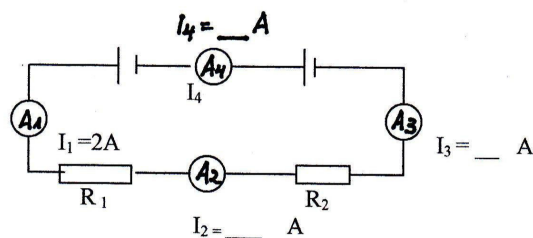
2. Lampe 5 leuchtet so hell wie Lampe 1

☒

3. Lampe 5 leuchtet schwächer als Lampe 1

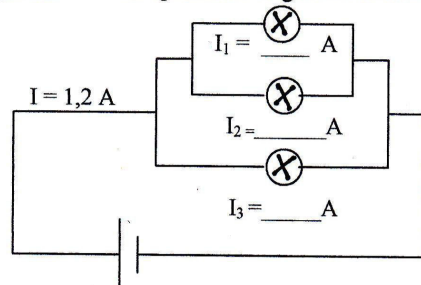
☐

Aufgabe 5: Im folgenden Stromkreis sind die beiden Widerstände R_1 und R_2 verschieden:



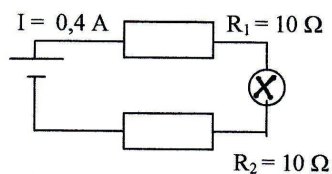
Ergänzen Sie die Messwerte bei den Amperemetern.

Aufgabe 6: Die Lämpchen im folgenden Stromkreis sind alle gleich

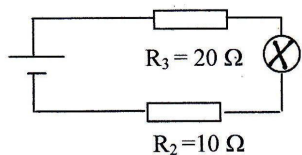


Ergänzen Sie die Stromstärken in den Verzweigungen.

Aufgabe 7: Die Stromstärke im folgenden Stromkreis beträgt 0,4 A. Nun wird zunächst der Widerstand R_1 geändert. Batterie und Lämpchen bleiben unverändert.



1. Änderung: Der Widerstand R_1 wird durch den Widerstand $R_3 = 20 \Omega$ ersetzt.

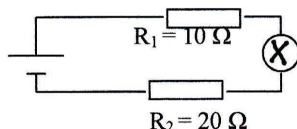


Der Widerstand R_1 wird durch den Widerstand $R_3 = 20 \Omega$ ersetzt:

Vergleichen Sie mit der ersten Schaltung und kreuzen Sie an:

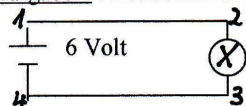
1. Die Stromstärke im Lämpchen ist nun kleiner als $0,4 \text{ A}$. ☒
2. Die Stromstärke im Lämpchen ist genauso groß wie vorher. ☐
3. Die Stromstärke im Lämpchen ist nun größer als $0,4 \text{ A}$. ☐

2. Änderung: Der Widerstand R_1 wird wieder eingesetzt. Dann wird der Widerstand R_2 durch den Widerstand $R_3 = 20 \Omega$ ersetzt.



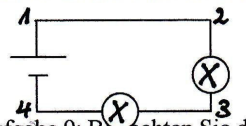
1. Die Stromstärke im Lämpchen ist nun kleiner als $0,4 \text{ A}$ ☒
2. Die Stromstärke im Lämpchen ist genauso groß wie vorher ☐
3. Die Stromstärke im Lämpchen ist nun größer als $0,4 \text{ A}$. ☐

Aufgabe 8 : Betrachten Sie die folgende Schaltung:



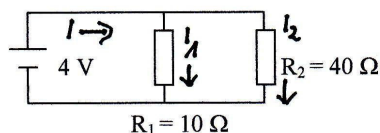
Wie groß ist in diesem Stromkreis die Spannung zwischen den Punkten:
1 und 2: _____ V ; 3 und 4 : _____ V ; 2 und 3 : _____ V ;

Zwischen den Punkten 3 und 4 wird ein zweites Lämpchen der gleichen Sorte zugeschaltet:



Wie groß ist in dem Stromkreis mit 2 Lämpchen die Spannung zwischen den Punkten:
1 und 2 : _____ V ; 3 und 4 : _____ V ; 2 und 3 : _____ V

Aufgabe 9: Betrachten Sie die folgende Schaltung:

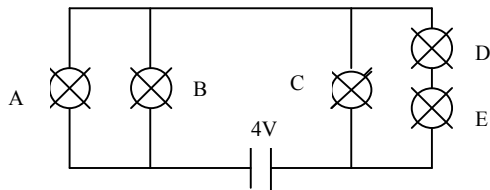


Der Widerstand $R_2 = 40 \, \Omega$ wird durch einen $50 \, \Omega$ -Widerstand ersetzt. Kreuzen Sie die richtige Antwort an:

- a. Der Strom I_2 wird größer ☐
 Der Strom I_2 bleibt gleich ☐
 Der Strom I_2 wird kleiner ☒
- b. Der Strom I_1 wird größer ☐
 Der Strom I_1 bleibt gleich ☒
 Der Strom I_1 wird kleiner ☐
- c. Der Strom I wird größer ☐
 Der Strom I bleibt gleich ☐
 Der Strom I wird kleiner ☒

Aufgabe 10:

Die Lämpchen in der folgenden Schaltung sind alle gleich. Vergleichen Sie die Helligkeit der Lämpchen B und C, kreuzen Sie an und begründen Sie:

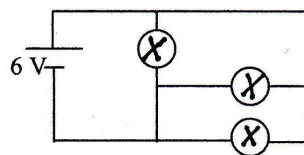


- B und C leuchten gleich hell ☐
 B leuchtet heller als C ☐
 C leuchtet heller als B ☒

Begründung: _____

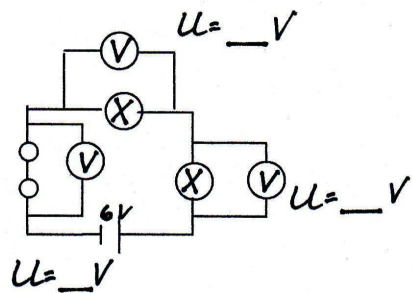
Aufgabe 11:

Die Lämpchen in der folgenden Schaltung sind alle gleich, sie leuchten gleich hell.

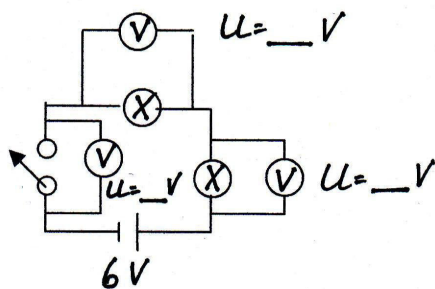


Geben Sie eine Begründung an: _____

Aufgabe 12: Die folgende Schaltskizze enthält einen geschlossenen Schalter. Schreiben Sie an die Messinstrumente die Messwerte:



Die folgende Schaltskizze enthält einen geöffneten Schalter. Schreiben Sie an die Messinstrumente die Messwerte:



15. Anhang 3: Darstellung einer Schülerbefragung zur im Physikunterricht erarbeiteten elementaren Halbleitertechnik

15.1. Der Einsatz von mit Halbleitern bestückten Arbeitsplatten im Physikunterricht

Wertungen von Schülerinnen und Schülern 9. Realschulklassen in Soltau

Fragebogen:

Im zurückliegenden Halbjahr hast Du im Physikunterricht verschiedene auf Arbeitsplatten befestigte elektrische Schaltelemente und Halbleiter kennen gelernt und Versuche mit ihnen ausgeführt. Beantworte bitte die folgenden Fragen gewissenhaft. (Eventuell die Rückseite benutzen)

1. Welche Schaltelemente hast Du im Verlaufe des letzten Halbjahres kennen gelernt?

2. Wie beurteilst Du in der Rückschau das von Dir erworbene neue Wissen? Hat es Dich bereichert, war es nützlich für Dich oder gar überflüssig? _____

Begründe Deine Antwort kurz! _____

3. Nach den Schülerversuchen mit den Arbeitsplatten gab es auch Unterrichtsphasen, in denen nur erklärt beziehungsweise in Demonstrationsversuchen physikalische Sachverhalte erarbeitet wurden. Welche Unterrichtsform bevorzugst Du? Erkläre kurz! _____

4. Arbeitsplatten stellten im Unterricht eine besondere Form von Schülerversuchen dar. Haben sie Dein Erlernen und Verstehen von neuen physikalischen Sachverhalten erleichtert? Begründe Deine Aussage!

5. Wie beurteilst Du das Lernen zusammen mit anderen? _____

6. Wie ließen sich nach Deinen Vorstellungen die Platinen im Interesse erfolgreicher Lernens verbessern ?

7. Du hast im praktischen Umgang mit Widerständen , Gleichstromgeräten, Messinstrumenten und in dem Aufbau von Stromkreisen auch neue Fähigkeiten erworben. Wie beurteilst Du dieses neue experimentelle Können? _____

8. Wie beurteilst Du Dein neues Wissen zur Halbleitertechnik? _____

Danke!

B. Elbers

Abbildung 82: Schülerfragebogen zur Halbleitertechnik

16. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schaltpläne für Prüfungsaufgaben an der Waschingtoner Universität	20
Abbildung 2: Der Energiebegriff	39
Abbildung 3: Arbeitsplatte 1	45
Abbildung 4: Die Schaltskizze zur ersten Arbeitsplatte	45
Abbildung 5: LDR- und NTC- Widerstand-Schaltbild: Abb.33	46
Abbildung 6: Die Arbeitsplatte Halbleiterdiode-Schaltplan: Abb.34	46
Abbildung 7: Darlingtonschaltung zweier Transistoren:	47
Abbildung 8: Die Arbeitsplatte Transistor-Mess-Schaltung	48
Abbildung 9: Die Arbeitsplatte Lichtempfindliche Widerstände	48
Abbildung 10: Die Arbeitsplatte Leuchtdioden	49
Abbildung 11: Arbeitsplatte Solarzellen	49
Abbildung 12: Der Zeitstrahl der Untersuchung	53
Abbildung 13: Auswertung der Umfrage	55
Abbildung 14: Auswertung der Umfrage- Frage 3.2	56
Abbildung 15: Tabelle Lernerfolge im Vergleich: Anteil der korrekten Lösungen	61
Abbildung 16: 4 Felder Darstellung	63
Abbildung 17: Auswertung des χ^2 - Tests	63
Abbildung 18: Histogramm der Testergebnisse Soltau 1 - Rhöneck	64
Abbildung 19: Wilcoxon-Paardifferenzen-Test: „Soltau 1“ – „Von Rhöneck“	66
Abbildung 20: Hypothesenvergleich	68
Abbildung 21: Vergleiche der Medianwerte in den Tests	68
Abbildung 22: Ergebnisse der beiden Soltauer Tests im Vergleich	69
Abbildung 23: Daten erreichter Lernleistungen in beiden Gruppen	70
Abbildung 24: Gruppenergebnis: Schülerarbeit der Unterrichtseinheit 1	74
Abbildung 25: Wertetabelle der Gruppenarbeit	75
Abbildung 26: Widerstandswerte einer Glühlampe	75
Abbildung 27: Werte des LDR-Versuches	77
Abbildung 28: Arbeitsplatte NTC-Widerstände, Arbeitsergebnisse	78
Abbildung 29: Versuchsergebnisse zu LDR- und NTC-Halbleitern	79
Abbildung 30: Dioden-Versuchsergebnisse	81
Abbildung 31: Ein „Bipolarer Transistor“	81
Abbildung 32: Verstärkerwirkungen von Transistoren	82
Abbildung 33: Transistor-Mess-Schaltung	83
Abbildung 34: Versuchsergebnisse der Transistor -Mess-Schaltung	84
Abbildung 35: Basisstrom zu Emitterstromstärke	84

Abbildung 36: Baisstromstärke zur Kollektorspannung	85
Abbildung 37: Potentiometer- , Warnlicht- und Dämmerungsschaltung	86
Abbildung 38: Potentiometerschaltung	87
Abbildung 39: Arbeitsplatine Leuchtdioden	90
Abbildung 40: Unterschiedliche Widerstände von Leuchtdioden	90
Abbildung 41: Kennwerte der Leuchtdioden-Tabelle	92
Abbildung 42: Kennwerte der Leuchtdioden-Grafik	92
Abbildung 43: Versuche mit Solarzellen	93
Abbildung 44: Auswertung des Versuches Solarzelle- Optimale Leistung einer Solarzelle	95
Abbildung 45: Si-Atome	98
Abbildung 46: Aufbau einer Halbleiterdiode	100
Abbildung 47: Aufbau eines npn-Transistors	102
Abbildung 48: Aufbau einer Leuchtdiode	103
Abbildung 49: Aufbau einer Solarzelle	104
Abbildung 50: Im Unterricht kennengelernte elementare Schaltelemente	107
Abbildung 51: Neues Wissen im Schülerurteil	108
Abbildung 52: Bevorzugte Unterrichtsform	109
Abbildung 53: Beurteilung der Arbeitsplatinen	109
Abbildung 54: Lernen in Gruppen?	109
Abbildung 55: Platinen verbessern	110
Abbildung 56: Beurteilung manuellen Könnens	110
Abbildung 57: Beurteilung des erworbenen Wissens zur Halbleitertechnik	111
Abbildung 58: Bewertung des erworbenen Wissens	113
Abbildung 59: Bevorzugung von Unterrichtsformen	116
Abbildung 60: Bewertung der Arbeitsplatinen	118
Abbildung 61: Lernen in Gruppen?	122
Abbildung 62: Arbeitsplatinen verändern	123
Abbildung 63: Beurteilung des experimentellen Könnens	125
Abbildung 64: Gesamtbeurteilung zum Unterricht in der Halbleitertechnik	127
Abbildung 65: Aufschlüsselung der Werte aus der Cohens Kappa Berechnung, Aufgabe 2	129
Abbildung 66: Schaltplan der Arbeitsplatinen	132
Abbildung 67: Darstellung von Wechselspannung auf dem Oszilloskop	133
Abbildung 68: Die Diode unterdrückt eine Halbwelle der Sinusschwingung	133
Abbildung 69: Beide Halbwellen des Wechselstromes werden als Träger der elektrischen Energie umgesetzt	134
Abbildung 70:Nur eine Halbwelle als Energieträger wird hier umgesetzt	135
Abbildung 71:Teilweise geglätteter Gleichstrom- die Kennlinie verläuft oberhalb der waagerechten Achse	135

Abbildung 72: Geglätteter Gleichstrom	136
Abbildung 73: Potentiometerschaltung und Transistor	137
Abbildung 74: Der Transistor als Verstärker	138
Abbildung 75: Feststellung der Motivation - Umfrage	140
Abbildung 76: Auswertung des Motivationstestes	141
Abbildung 77: von Rhönecktest Seite 1 von 5	162
Abbildung 78: von Rhönecktest Seite 2 von 5	163
Abbildung 79: von Rhönecktest Seite 3 von 5	164
Abbildung 80: von Rhönecktest Seite 4 von 5	165
Abbildung 81: von Rhönecktest Seite 5 von 5	166
Abbildung 82: Schülerfragebogen zur Halbleitertechnik	168

17. Versicherung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen benutzt habe.

Alle angegebenen Tabellenwerte und ihre Darstellungen in Diagrammen entstammen den Untersuchungen des Forschungsprojektes in Soltau.

Die abgebildeten und im Unterricht eingesetzten Arbeitsplatinen wurden von mir nach eigenen Vorstellungen entwickelt und jeweils in sechsfacher Ausfertigung in Eigenarbeit hergestellt.

Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden.

Bergen, im Mai 2013

Bruno Elbers

18. Danksagung

Die Gestaltung und Vollendung der vorliegenden Forschungsarbeit konnte nur dank des Zuspruchs und der Unterstützung durch Herrn Professor Dr. R. Müller an der Technischen Universität in Braunschweig gelingen. Für seine ständige Bereitschaft, die Forschungsarbeit an der Realschule in Soltau unterrichtsdidaktisch unmittelbar und hernach in vielen Fachgesprächen beratend zu begleiten, dafür danke ich ihm ganz besonders.

Mein Dank gilt auch dem Schulleiter, Herrn Krause, dem Konrektor, Herrn Kronemann, und den Physiklehrern Herrn Kapelke und Herrn Marquard an der August-Wöhler-Realschule in Soltau für ihre vielfältigen Unterstützungen zum Gelingen eines fruchtbaren und der Forschung dienenden Physikunterrichtes an der dortigen Schule.

Meinem Sohn, Volker Elbers, spreche ich meinen Dank für seine Hilfe bei der Gestaltung einer angemessenen Formatierung der vorliegenden Arbeit aus.

Last, but not least, danke ich meiner Frau ganz besonders für ihre unendliche Geduld und vielfältige Hilfen im Zeitraum der Planung und des Entstehens der vorliegenden Forschungsarbeit.

29303 Bergen, Kreis Celle, im Mai 2013

Bruno Elbers